

VODNÍ CESTY A PLAVBA

(příprava přednášek)

Úvod

Význam vnitrozemských vodních cest neustále vzrůstá s budováním evropské sítě vodních cest, otevřením průplavu Dunaj – Mohan – Rýn v roce 1992, s celkově se zvyšujícími se požadavky na přepravu zboží a materiálů jako i s rostoucími požadavky na tvorbu a ochranu životního prostředí.

1. Vodní cesta a plavba

Vodní doprava je jedním z nejstarších druhů dopravy. Od počátku sloužily vodní toky k nenáročné a levné dopravě lidí i nákladů. Vodní dopravu dělíme na námořní, vnitrozemskou a na plavbu na řekách, jezerech a průplavech. Plavidla v nejjednodušších formách se vyskytovala ve všech kulturních a vývojových stupních lidské společnosti. Sít' vnitrozemských vodních cest existovala ve všech otrokářských státech starověku a jejich hospodářský vývoj byl úzce spjat s lodní dopravou.

1.1. Historie a vývoj vodní dopravy

Možnost využití vodní dopravy byla zřejmě jednou z příčin rozvoje měst a oblastí v údolích velkých řek jak Nil, Eufrat, Tigris a indických a čínských veletoků. Už 5000 let př.n.l. se dopravovalo zboží po Nilu na vzdálenost 1000 km, z oblastí Asúánu až do okolí Káhiry. Z Číny je známý průplav *Císařská cesta*, v horních oblastech Jang-c'ťiang, celý vytesaný ve skále. Významným dílem jenž slouží dodnes je *Velký průplav (Císařský průplav)*, který prochází Velkou čínskou nížinou od Pekingu až po Chang-čou v délce 1782 km.- Jeho výstavba začala v roce 485 př.n.l a dokončena byla až v roce 1290. Významným plánem, svědčícím o rozvoji vodní dopravy bylo navržení průplavu spojujícího Rýn a Dunaj. Se stavbou se začalo v roce 793 za vlády císaře Karla Velikého, průplav však nebyl dokončen a jeho celkové dokončení a uvedení do provozu v celém rozsahu se uskutečnilo až v roce po 1200 letech v roce 1992.

Nevýhodou a dalo by se říci i brzdou rozvoje vodní dopravy, byla neznalost překonávání vyšších spádů a průplavy byly do té doby budovány jen v rovinných úsecích. Velký význam pro rozvoj plavby měl poměrně jednoduchý, avšak geniální objev plavební komory v roce 1439 v Itálii (Filip z Modeny a Fioravante z Bologny). Zachoval se i návrh plavební komory od Leonarda da Vinci (kolem roku 1500), jeho náčrtky jsou velmi blízké dnešnímu řešení plavebních komor. Dá se říct, že objevení vynálezu plavební komory v 15. století přineslo prudký rozmach při budování vodních cest, zejména v západní Evropě. Budováním průplavů spojujících přirozeně splavné toky a splavňování toků se značně prodloužila sít' vodních cest a vnitrozemská vodní doprava dosáhla značný rozvoj.

V 17. století začala plánovitá výstavba ucelené sítě vodních cest zejména v Německu, Francii, Itálii, Anglii a Holandsku.

Nastupující železniční doprava v 19. století zapříčinila celoevropskou stagnaci, ba dokonce až úpadek vodní dopravy. Mnohé plavební kanály a vodní díla umožňující plavbu byly zrušeny. Lze konstatovat, že koncem 19. a začátkem 20. století vodní doprava stagnovala a její další vývoj je patrný až po 2. světové válce, částečnými rekonstrukcemi starých vodních cest a budováním nových průplavů (např. Rýn – Mohan – Dunaj).

U nás nejstarší zachované dokumenty hovoří o plavbě na Labi již v 10. století. K velkému rozvoji lodní dopravy dochází za Přemysla Otakara II. a Karla IV. na Vltavě, Labi a Moravě. U nás se přepravovalo především dřevo, sůl ale i jiné obchodní zboží. Doprava dřeva voroplavba se u nás zachovala v podstatě až do poloviny 20. století. V současné době u nás nemá vodní doprava příliš velký význam, zajišťuje asi 2 % objemu celkové dopravy zboží náklady pro námořní dopravu po Labi do Hamburku, uhlí pro zásobování elektráren na Labi, doprava místního významu (v Praze při výstavbě metra).

Stará síť vodních cest v Anglii byla vybudována především na průplavech a s rozvojem železnice a silniční dopravy prakticky zanikla. Síť vodních cest ve Francii byla vytvářena splavňováním toků a budováním velkého množství průplavů. Při rozvoji a využívání vodních cest má v Evropě mimořádné postavení Holandsko, kde se na plavbu využívají odvodňovací kanály a vodní dopravou se zde přepravuje asi 48% veškerého zboží.

Vodní cesty v Evropě lze charakterizovat jako vodní cesty středoevropské, kde převážná většina je vybudována na splavných tocích a na splavňovaných tocích řek spojující vnitrozemí s přístavy v Severním a Baltickém moři (Rýn, Vesera, Labe, Odra, Visla) a s přístavy Černého moře (Dunaj). Od roku 1992 je průplavem Rýn – Mohan – Dunaj vytvořené plavební propojení Černého a Severního moře. Od něj lze očekávat stoupající trend rozvoje vodní dopravy a v návaznosti na tento průplav lze očekávat i další nové vodní cesty. Nemalý význam pro rozvoj vodní dopravy mají také ekologické požadavky krajiny, pro něž vodní doprava je jednou z nejčistějších druhů dopravy.

1.2. Klasifikace vnitrozemských vodních cest

Různorodost přírodních podmínek pro plavbu a splavování toků vedla k vytváření nerovnoměrných plavebních podmínek, plavebních parametrů a samotných plavidel v různých částech Evropy. Tato různorodost požadavků na zabezpečení plavby a stavbu plavidel přinášela problém při vytváření sítě vnitrozemských vodních cest pro nemožnost plavby určitých typů lodí v některých oblastech. Parametry plavidel vyhovující určité oblasti plavby nevyhovovaly jiným oblastem (např. plavidlo z Polska nemohlo plout na vodních cestách v Rusku a na západě). Snaha o vytvoření jednotné sítě vodních cest v Evropě vedla ke zmapování stávajících vodních cest v Evropě na základě parametrů vodní cesty a plavidel na těchto vodních cestách. Na tomto zmapování základě došlo k vytvoření klasifikace vodních cest, která jednoznačně určuje možnosti plavby na každé vodní cestě pro určitý typ plavidel. V průběhu minulého století vzniklo několik různých klasifikací vodních cest, každá pro svou oblast (SSSR, NDR, Polsko), žádná z nich však nedokázala parametry vodních cest a plavidel, sjednotit pro celou Evropu. Povedlo se to až v roce 1992 Evropské hospodářské komisi.

Nová klasifikace evropských vodních cest má mimořádný význam. Na jedné straně poskytuje výstižné informace o kvalitě jednotlivých existujících vodních cest, na straně druhé zaručuje vhodnou volbu parametrů pro výstavbu nových a rekonstrukci starých vodních cest v rámci evropské sítě. Požadované parametry plavidel a lodních sestav jako i minimálních podjezdných výšek pod mosty pro vodní cesty mezinárodního významu jsou s přihlédnutím na perspektivní rozměry nákladních motorových lodí, přepravovaných kontejnerů a použití přepravy ro-ro trochu nadsazené. Ro-ro je kombinace vodní a silniční dopravy, tento systém používá speciální plavidla pro přepravu celých nákladních vozidel, nebo jen přívěsů s nákladem, tyto vozidla bez potřeby

použití překládacího zařízení vjíždějí a vyjíždějí z přepravních člunů na speciálně upravené přistavní ploše, po opuštění přístavu se zboží dále transportuje opět po silnici až na místo určení.

Parametry regionálních vodních cest nejsou v souladu s principy mezinárodní klasifikace a nemají celoevropský charakter. Při výstavbě a modernizaci stávajících regionálních vodních cest se doporučuje je řešit tak, aby byla možnost přímého napojení plavidel a kontejnerů, popřípadě využití systému ro-ro na mezinárodní síť při jejich maximálním využití.

Evropské vodní cesty se dělí do 7 tříd (obr č. 1); jejich dimenze jsou dány velikostí lodí. Vodní cesty I až III odpovídají rozměry starým vodním cestám; třída IV se stává převládající třídou na nově budovaných evropských cestách. Rozměry plavebních kanálů a vybavení plavebních komor zařazených do této třídy odpovídají velikosti tlačného člunu Evropa II.

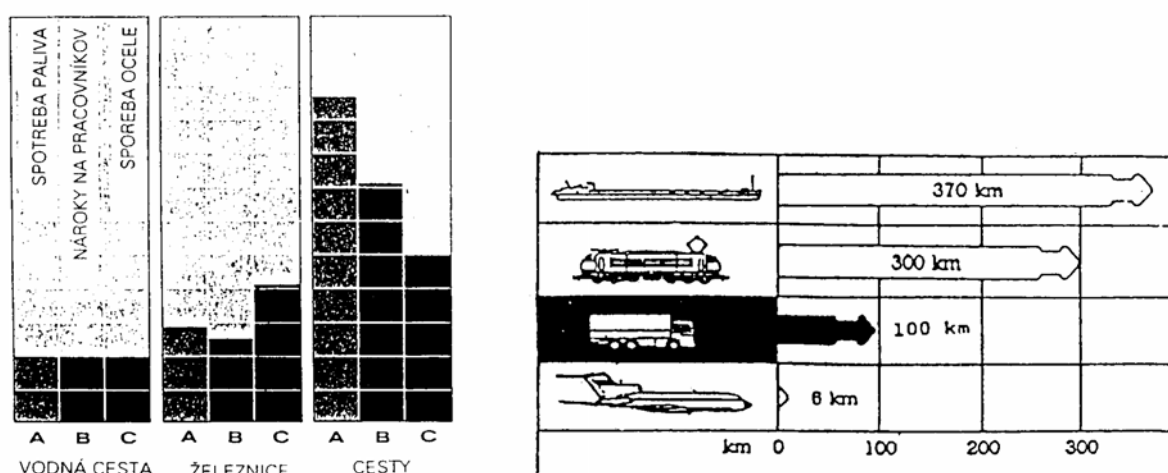
Obrázek č. 1 Klasifikace vnitrozemských vodních cest mezinárodního a regionálního významu

Třída vodní cesty	Motorové nákladné lodě a čluny					Tlačné súpravy					Minimálna výška pod mostami	Grafické znázornenie na mape
	Názov	Dĺžka	Šírka	Ponor	Nosnosť	Schéma	Dĺžka	Šírka	Ponor	Nosnosť		
		m	m	m (2)	t		m	m	m (2)	t (3)	m (4)	
IV	Mot.lod' Johann Welker	80-85	9,50	2,5	1000-1500		85	9,5	2,5 2,8	1250-1450	5,25 alebo 7,0 (6)	
Va	Velká motor. loď	95-110	11,40	2,5-2,8	1500-3000		95-110 (7)	11,4	2,5-4,5	1600-3000	5,25 alebo 7,0 alebo 9,1	
Vb							172-185 (7)	11,4	2,5 4,5	3200-6000	7,0 alebo 9,1 (6)	
Vla							95-110 (7)	22,8	2,5-4,5	3200-6000	7,0 alebo 9,1 (6)	
Vlb	(8)	140	15,0	3,9			185-195 (7)	22,8	2,5-4,5	6400-12000	7,0 alebo 9,1 (6)	
Vlc							270-280 (7)	22,8	2,5-4,5	9600-18000	9,1 (6)	
							193-200 (7)	33-34,2 (7)	2,5-4,5	9600-18000		
VII (9)							285-295 (7)	33 34,2 (7)	2,5 4,5	14500-27000	9,1	

K vodní dopravě používáme nejčastěji přirozeně splavné, popř. splavněné vodní toky a umělé plavební kanály. Síť vodních cest je však řídká – vyžaduje kombinaci s následnou dopravou. U nás je vodní doprava sezónní, nelze plout v zimě při zámru ani za povodňových průtoků, i při nízkých vodních stavech se plavba omezuje. Vodní doprava je pomalá – v průměru jen kolem 7 km/h (silnice a železnice 40 km/h). Proto se vodní doprava v našich podmínkách hodí spíše jako doplněk dopravy silniční a železniční pro dálkový transport velkých zařízení nebo pro přepravu hromadného zboží (uhlí, rudy, průmyslová hnojiva, šterkopísek ...).

Na druhé straně však vodní doprava zůstává stále nejlevnějším druhem dopravy (obr č. 2). Potřeba tažné síly je 75x menší a hmotnost dopravních prostředků je 4x menší než u silniční či železniční dopravy. Životnost dopravních prostředků je výrazně vyšší. Na jednu směnu a pracovníka připadá na vnitrozemských vodních cestách 1800t/km, na silnici 140t/km. Typ současného člunu o nosnosti 1000 – 1500 t odpovídá 2 – 3 plně naloženým vlakům.

Obrázek č. 2 Druhy doprav - porovnání



1.3. Vnitrozemské vodní cesty

Rozdělení vodních cest na námořní a vnitrozemské vyplývá více-méně z charakteru plavby a plavebních podmínek. Přesnou hranici mezi nimi nelze jednoznačně určit. Říční lodě přizpůsobené k plavbě na moři, vykonávají pobřežní mořskou plavbu, tzv. kabotáž a naopak mořské lodě na některých velkých řekách (Amazonka, Parana, Jang-si-t'ang ...) plují často až stovky kilometrů do vnitrozemí. Taktéž některé významné mořské přístavy (námořně – říční přístavy) jsou vybudovány dost daleko od ústí řeky do moře, např. Hamburk na Labi, Štětín na Odře, Londýn na Temži, Leningrad na Něvě, Braila a Galac na Dunaji

Vnitrozemské vodní cesty jsou všeobecně víceúčelová vodní díla. Nevyužívají se pouze pro vodní dopravu, ale slouží i v různých dalších odvětvích jako jsou:

- *vodní hospodářství*, ke zlepšení odtokových poměrů, zlepšení průtoků, ochrana proti povodním, zlepšování čistoty toků
- *energetika*, k výrobě energie ve vodních elektrárnách, na zabezpečení chladicí vody pro tepelné a jaderné elektrárny
- *průmysl*, k zabezpečení odběrů technologické a chladicí vody, pro odvod a čištění odpadních vod
- *zemědělství*, odběr vody na závlahu a odvod vody z odvodňovaných oblastí
- *sport, rekreace a zlepšování vzhledu krajiny* ...

Vnitrozemské vodní cesty můžeme rozlišovat podle plavebních poměrů a podmínek na :

- *přirozeně splavné toky a jezera*
- *toky splavněné regulačními úpravami*
- *toky splavněné kanalizační metodou, budováním plavebních stupňů*
- *průplavy*

1.3.1. Přírozeně splavné vodní toky

Přírozeně splavné toky jsou především veletoky a spodní nížinné úseky velkých řek. Jsou pro ně charakteristické příznivé hydrologické podmínky – vyšší průtoky s malými výkyvy v průběhu roku, vysoké vodní stavy (dostatečné plavební hloubky), malé podélné sklony a poměrně dobrá ustálenost koryta. Na světě je poměrně málo řek přírozeně splavných od ústí do moře až daleko do vnitrozemí (Amazonka, Mississippi, La Plata, Jang-si –ťang).

Ve většině případů jsou splavné jen určité úseky, v kterých je třeba překonávat určité překážky technickými zásahy.

Pro zabezpečení orientace, plynulosti a bezpečnost plavby na přírozeně splavných tocích, je nutno na této vodní cestě vybudovat stálé a přenosné plavební znaky jakými jsou: kilometrovníky, znaky pro odbočení a rozdělení vodní cesty, břehové znaky, znaky prikazující a zakazující manévrování, označení plavebních překážek, plávající znaky vytyčující plavební dráhu apod. Vodní toky s nepřetržitou plavbou musí mít vyznačenou plavební dráhu speciálními světelnými nebo reflexními znaky a odrážecí pro použití navigačních radarů.

1.3.2. Splavňování vodních toků pomocí regulačních úprav

Pokud vodní tok nevytváří svými parametry potřebné podmínky pro plavbu, nebo se na splavném toku vyskytují často překážky, přistupuje se k větším zásahům pomocí regulačních úprav. Ty se většinou provádí v dolním až středním úseku toku, kde jsou už poměrně vyrovnané průtoky a menší podélné sklony. Čím je průtok vody v toku vyrovnanější, tak je tok vhodnější pro regulační úpravy. Při splavňování touto metodou musíme dosáhnout rovnovážný podélný sklon, kde v průběhu roku nedochází k trvalému prohlubování koryta. V opačném případě si údržba plavební dráhy vyžaduje neustálé bagrování a úpravy, které značně snižují hospodárnost vodní cesty. S regulačními úpravami začínáme zpravidla od spodního konce splavňovaného toku, kvůli lepšímu ovládnutí splavninového režimu toku. Je výhodné provádět úpravy po etapách, přičemž v první etapě se provádí hrubá úprava a až po ověření správnosti provedení úpravu dokončíme.

Při regulačním splavňování toků se snažíme dosáhnout těchto cílů:

- zabezpečit minimální plavební hloubku větší o 30 cm než je ponor plavidla a minimální plavební šířku plavební dráhy, to vše i při minimálním plavebním průtoku
- při maximálním plavebním průtoku by rychlost proudící vody neměla překročit 2 m/s
- umožnit transport celým splavňovaným úsekem ledu a splaveninám
- při průtoku velkých vod nesmí docházet k deformaci plavební dráhy

Regulačními úpravami splavňujeme toky na střední a malou vodu:

Splavňování toku na střední vodu má zabezpečit splavnost při výskytu střední vody, při menších průtocích se můžou plavidla plavit s menším ponorem, popř. může být plavba i úplně vyloučena. Za hlavní zásady regulačního splavňování toků se považuje:

- vytvoření a stabilizace koryta tak, aby se do něj soustředily všechny průtoky až po střední vodu, podélnými stavbami se uzavřou všechny vedlejší ramena, aby se zabránilo dalšímu rozvětřování toků a vytváření ostrovů

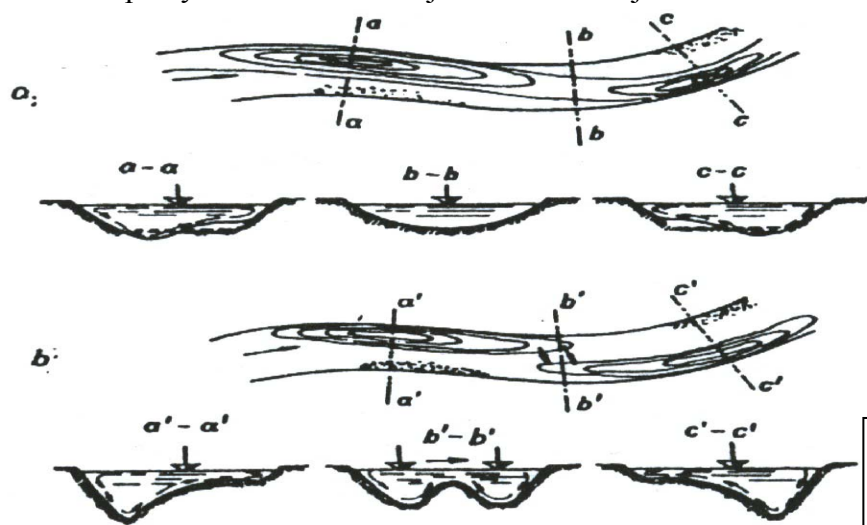
- zmírnění nevyhovujících ostrých oblouků a vedení trasy tak aby se vytvořily podmínky pro tvorbu dobrých brodů s plynulou a bezpečnou plavbou

Splavňování toků na malou vodu, nám vytváří požadované plavební parametry i při malých průtocích. Obvykle se vytváří menší kyneta pomocí koncentračních staveb, kde je i při malých průtocích zabezpečena dostatečná plavební hloubka. Při středních a větších průtocích jsou tyto stavby přelívány a proto jejich okraje musí být označené, aby při větších průtocích nedošlo k havárii plavidla.

Při splavňování toků regulačními úpravami se doporučuje postupovat plynulou vlnovkou se střídajícími se protisměrnými oblouky spojenými krátkou mezipřímou. Je potřebné, avšak velmi obtížné, vystihnout původní charakter toku a dosáhnout toho, aby se v mezipřímých vytvářel dobrý brod.

Dobrý brod vzniká ve vhodně upraveném korytě, kde se trasa vede mírnými oblouky vhodných délek a zpravidla s proměnlivou křivostí. Při vytváření dobrých brodů se trasa ztotožňuje s proudem vody, čehož se musí dosáhnout zejména při koryto-tvorných průtocích. Místa největších hloubek při vnějších březích oblouků mají takovou polohu a tvar, že proud, který vytváří plavební dráhu, plynule přechází z jednoho vnějšího břehu na druhý vnější břeh v následující oblouku a v mezipřímé nedochází k zanášení profilu.

Zlý brod vzniká v korytě špatně vedené trasy. Místa větších hloubek sousedních oblouků se překrývají a tím vznikají poměrně vysoké prahy, které vytvářejí dva úzké žlaby pro plavbu velmi nevýhodné. Odbagrování vzniknutého prahu má jen dočasný účinek a při každé velké vodě se špatný brod obnoví. Pro jeho odstranění je nutno vhodně změnit trasu koryta. (obr č.3).



Obrázek č 3 Brody na splavném toku
a) dobrý brod
b) zlý brod

1.3.3. Splavňování toků kanalizační metodou

Tato metoda se nejčastěji používá zejména ve střední a horní části toku, kde bývají poměrně nevyrovnané průtoky a požadovaných plavebních parametrů nelze docílit regulačními úpravami. Kanalizování řeky tj. splavňování, při kterém se v korytě toku postaví kaskáda plavebních stupňů, jež vytváří zdrže. Tento způsob splavňování řek je v porovnání s regulačními úpravami několikanásobně nákladnější po všech stránkách. Použití tohoto řešení na sebe váže i mnohé další požadavky a užitky pro celé vodní hospodářství státu. Často jde o značné zásahy do přirozeného charakteru toku a životního prostředí v povodí. Největší výhodou kanalizačního

splavnění řeky je zabezpečení plavební hloubky a požadovaných parametrů i při minimálních průtocích.

Výhody kanalizačního splavňování toku pro plavbu jsou:

- trvale zabezpečená plavební hloubka pro plavbu
- zpomalení rychlosti proudu toku ve zdrži
- úspora času při plavbě proti proudu
- bezpečnější plavební provoz

Nevýhody kanalizačního splavňování toku:

- velká časová ztráta při plavbě plavební komorou
- nánosy plavenin a splavenin ve zdrži
- rychlejší zamrzání hladiny při menších průtocích, tzn. zkrácení plavebního období

Při splavňování toků kanalizační metodou je jednoúčelové využití už velmi zřídka. Plavební stupeň kanalizovaného toku se skládá z hatě (přehrady) a plavební komory. V současném trendu víceúčelového využívání toku se většinou na plavebním stupni budují i vodní elektrárny. Na vodní toku se tak buduje prakticky celý hydrouzel. Z pohledu koncepčního řešení plavebního stupně při současném energetickém využití řešíme tento hydrouzel jako *říční schéma a derivační schéma*.

Říční schéma, soustřeďuje objekty do jedné lokality. Zdymadlo, vodní elektrárna a plavební komora jsou prakticky v jednom profilu (obr.17.). Při tomto řešení je nutno navrhnout co nejplynulejší navázání plavebního stupně na přirozený úsek toku, přičemž je potřebné celé řešení provést tak, aby:

- šířka toku v oblasti plavebního stupně nebyla nikde menší než je světlá šířka hatě
- umístění plavební komory, rejdů a vodní elektrárny tak, aby vzájemné ovlivňování plavebního a energetického provozu byl minimální
- vjezdy do rejdů plavebních komor situovat pokud možno do vnějších břehů oblouků
- vodní elektrárnu umístit tak, aby byla chráněna před zanášením a ledochodem

Derivační schéma, zdymadlo plavební komory a vodní elektrárny je situováno ve dvou profilech. Zdymadlem zabezpečujeme zvýšení hladiny a umožnění napojení plavebního nebo plavebně – energetického kanálu na zdrž. Teprve tam je vybudována plavební komora a vodní elektrárna. Použití derivačního schématu je dané specifickými podmínkami v daném úseku, mezi ně patří např. nepříznivé sklonové a morfologické poměry.

Rozhodnout o dispozičním řešení plavebního stupně a všech jeho objektů je velmi složitá záležitost. Většinou je nutné provést důkladný hydrotechnický průzkum a rozhodnout se teprve na jeho základě. Každé vodní dílo, každý vodní stupeň bývá obvykle v různém dispozičním provedení, i když jde o kaskádu na jednom toku. Je třeba volit takové řešení, aby byly splněny požadavky většiny uživatelů a aby byla zabezpečena plynulost provozu. Uspořádání vodní elektrárny, hatě a plavební komory se zdá poměrně výhodné, avšak nelze to říct vždy, závisí vždy od místních podmínek. Plavební komora, umístěná vedle vodní elektrárny, je vždy oddělená dělicí zdí nebo dělicím ostrovem. Velkým problémem při návrhu plavebního stupně je malá důvěryhodnost ve výpočty. Optimální řešení lze navrhnout jen na základě zkoumání více variant a zkoumání na hydraulických modelech.

Touto metodou je u nás splavněno Labe od Hradce Králové až po státní hranici (Hřensko). Na tomto úseku je vystavěno 19 plavebních stupňů. Vltava mezi Prahou a Mělníkem je splavněna 5 stupni a mezi Prahou a Slapskou přehradou jsou 3 plavební stupně.

1.3.4. Vnitrozemské průplavy a plavební kanály

Průplavy jsou umělé vodní cesty, budované mimo stávající řeky, nebo na malých tocích, kde není možné tok splavnit jinými metodami. Budují se jako:

- *spojovací průplavy*, za účelem propojení dvou splavných toků
- *průplavní odbočky*, za účelem přivedení vodní dopravy k zdroji surovin a k průmyslovým centrům
- *laterální průplavy*, k překonání mimořádně nepříznivých úseků, na splavněném toku, mimo tento tok

Průplav tvoří plavební stupně uspořádané do kaskády zdrží s prakticky neproudící vodou. Charakterem se velmi podobají splavněným tokům kanalizační metodou.

V porovnání s přirozeně splavnými a splavněnými toky mají průplavy tyto *výhody*:

- hloubka vody v jednotlivých zdržích průplavu je prakticky stálá
- rychlost proudící vody je prakticky nulová
- profil průplavu je stálý, beze změn, které vytváří proud řeky
- volnost vedení trasy průplavu
- stejné podmínky plavby v obou směrech
- větší celková rychlost plavby, díky možnosti volby vedení trasy

Nevýhodou průplavů, vzhledem na neproudící vodu je rychlejší zamrzání a pozdější tání ledu v průběhu zimy.

Vnitrozemské průplavy, jako umělé vodní cesty rozdělujeme:

1.) podle účelu na

- *spojovací*
- *průplavní odbočky*
- *laterální kanály*

2.) podle tvaru a průběhu podélného sklonu na

- *průplavy s jednosměrným sklonem*,
provádějí se v rovinném terénu, kde spojují důležité centrum se splavnou řekou, mohou spojovat i dvě splavné řeky, nebo dva průplavy v různých výškách
- *průplavy s obousměrným sklonem a vrcholovou zdrží*

3.) podle funkce na

- *průplavy s neproudící vodou*,
nevedou žádný průtok a je nutno je vodou zásobovat, slouží jen k přepravě
- *průplavy s proudící vodou*,
kromě plavby slouží i na přepravu vody z aktivních hydrologických povodí do pasivních povodí
- *plavebně - energetické (derivační kanály)*
kromě plavby slouží také k výrobě vodní energie a k ochraně před povodněmi

2. Parametry vodní cesty

V přirozeně splavném a ve splavňovaném toku je základní podmínkou splavnosti zabezpečení potřebné plavební hloubky a šířky dráhy, nepřekročení maximální rychlosti proudící vody, při které je ještě plavba bezpečná a vhodné vedení trasy plavební dráhy s minimálními povolenými poloměry oblouků. Vedení trasy, podélný profil a příčný profil splavňovaného toku musíme navrhovat vždy ve shodě se zásadami úpravy toků, přičemž je nutno zabezpečit požadavky plynulé plavby, dodržováním norem návrhu plavebních drah, pro navrhovanou třídu vodní cesty.

2.1. Trasa vodní cesty

Trasa vodní cesty ve splavné řece (plavební dráha) je vedena zpravidla korytem řeky tak, aby sledovala nejhlubší místo koryta (proudnicí) a aby byly dodrženy základní parametry plavební dráhy. V řadě případů to vyžaduje průběžnou údržbu koryta, např. těžbu uložených splavenin.

Trasa průplavu jako nejdůležitější návrhový prvek se obvykle řeší ve více variantách, přičemž se hledá optimální řešení dopravních, ekonomických a ekologických hledisek (průplav Volha – Don, porovnávalo se 90 variant).

Průplav spojuje výchozí lokality s jednotlivými důležitými centry, pro něž zajišťuje dopravu. Hledáme zpravidla nejkratší spojnici, která se však vyhýbá vysokým násypům, hlubokým zářezům a terénním překážkám. Trasu vedeme převážně po vrstevnici odpovídající výškové úrovni průplavu. Násypy ani zářezy při odchylce od vrstevnice by neměly překročit výšku 20 – 30 m. Při křížení průplavu a silnice či železnice, je průplav většinou veden pod touto komunikací, při křížení průplavu s vodním tokem převádíme průplav nad vodním tokem akvaduktem (průplavním mostem).

Při vedení trasy průplavem je vhodné střídat přímé úseky trasy a odpovídající oblouky. Příliš dlouhá přímá trasa unavuje obsluhu člunu a mohou na ni vznikat velké větrové vlny při souběžném větru. Přímé úseky však musejí být zachovány před vjezdem a za výjezdem plavebních komor.

2.2. Hlavní parametry vodní cesty

Pro rozměry vodní cesty je rozhodující typ používaného člunu. V Evropských podmínkách byl přijat typ člunu o nosnosti 1500 t s maximálními rozměry:

délka $L_{\xi} = 80$ m, šířka $B = 10,5$ m, ponor $p = 2,5$ m

Plavbu těchto člunů umožňují vodní cesty IV. třídy. Pro tyto parametry se budují nové a rekonstruuji stávající evropské vodní cesty včetně našeho Labe a Vltavy.

Pro plynulou plavbu na vodních cestách je nutno zabezpečit a navrhnout:

- **nejmenší hloubka plavební dráhy**, která by měla být zaručena v průběhu celého roku

$$H_{pd} = p + \Delta p$$

p ... ponor typové lodi, pro lokální vodní cesty 1,6 – 2,5 m, pro mezinárodní vodní cesty 2,5 – 4,5m

Δp ... bezpečnostní vzdálenost mezi dnem lodě a dnem plavební dráhy („marge“)
- min 0,3 m , doporučuje se však 0,5 m
- pro průplavy se doporučuje 1 m

- **šířka plavební dráhy**

- pro obousměrnou plavbu $B_{pd} = 2b + 3 \cdot \Delta b$ nebo $B = 3b$
- pro jednosměrnou plavbu $B_{pd} = (1,5 \text{ až } 2) \cdot b$

b ... největší šířka typové lodi, nebo lodní sestavy

Δb ... bezpečnostní vzdálenost mezi loďmi a mezi okrajem lodě a svahem břehu v úrovni dna lodě, min 5 m

Minimální šířka plavební dráhy na splavné řece regionálního významu je 20 m, na průplavu 16,0 m . Na vodní cestě mezinárodního významu (podle její třídy) je min šířka plavební dráhy od 40,0 m až do 180,0 m a na průplavu od 32,0 až do 135,0 m.

- **poloměr oblouků** $R_{min} = 10 \cdot L_{\epsilon}$, $R_{max} = 3000 \text{ m}$

Rozšíření plavební dráhy v oblouku závisí na poloměru oblouku a je

$$B_0 = B + \Delta B ; \text{ kde } \Delta B = \frac{L_{\epsilon}^2}{R} ; \text{ nebo } B + 12/2r + B$$

Rozšíření o ΔB se provádí na vnitřní straně oblouku. Min poloměr oblouku pro regionální vodní cesty je 400 m (! výjimečně ! 200 m!). Pro mezinárodní vodní cesty podle jejich tříd je R min 800 m, 1000 m a 1500 m (! 450 m 600 m a 1000m!).

Výjimečné hodnoty lze použít jen v mimořádně stísněných a nepříznivých poměrech vedení vodních cest.

- **plocha průřezu průplavu**

- F_{pd} by měla být několikanásobně větší než plocha průřezu ponořených člunů - f_{ϵ}

- pak $n = \frac{F_{pd}}{f_{\epsilon}} \geq 6$

- **maximální rychlost proudu**

- v řece se doporučuje 1,8 m/s, v případě větších rychlostí je nutno rozšířit plavební dráhu. Rychlost proudu 2,5 m/s se však považuje za nejvyšší, kde plavba proti proudu je ještě ekonomická.

- rychlost proudu v průplavech by neměla překročit 1,5 m/s

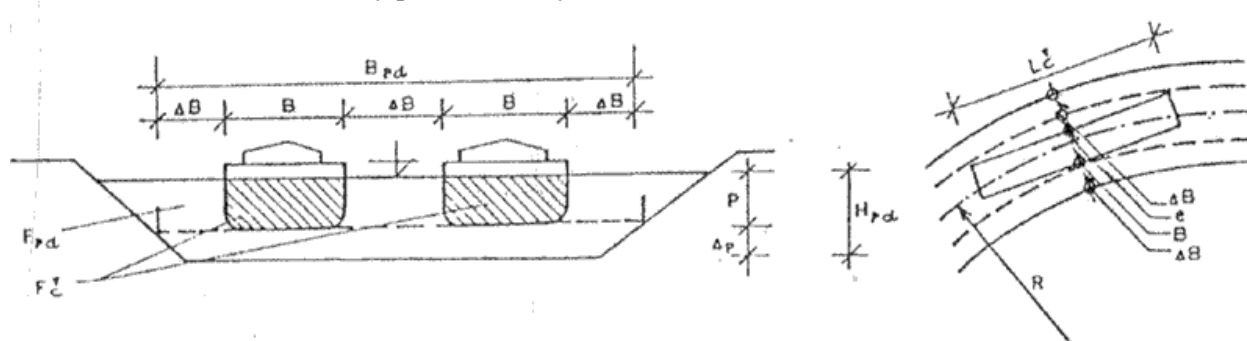
- **rychlost plavidel**

- na vodní cestě se pohybuje okolo asi 10 km/hod, dle charakteru vodní cesty lze dosáhnout maximální plavební rychlosti až 20 km/hod (Dunaj), maximální manévrovací rychlost plavidel v přístavech a rejdech je 1,0 m/s.

- přemostění vodních cest

- nutno dodržet *min světlou šířku* mezi pilíři mostu, která se pohybuje dle třídy vodní cesty od 40 m pro regionální cesty, až po 200 m pro mezinárodní vodní cesty.
- *min průjezdná výška*, tj. vzdálenost spodní hrany konstrukce mostu a maximální plavební hladiny (4 m pro regionální cesty a 7 – 9 m pro mezinárodní cesty)
- potrubní a kabelové vedení lze vést 1,2 – 2 m pode dnem plavební dráhy

Obrázek č. 4 Parametry plavební dráhy



2.3. Podélný profil vodní cesty

Při vedení trasy **splavnou řekou** musí být podélný profil dna plavební dráhy pravidelný se zachováním minimálních hloubek po celé délce.

U **kanalizované řeky** volíme přiměřené rozmístění plavebních stupňů (jezů) tak, aby jednotlivé zdrže nebyly příliš krátké, ale aby současně nebylo nutné v horní jezové zdrži budovat hráze. Průtokové poměry koryta je třeba uspořádat tak, aby v plavebním období byla zajištěna rychlost proudění vody v plavební dráze $v < 2.0$ m/s.

Podélný profil **průplavu** určuje trasa průplavu a zobrazuje jeho skutečnou délku, výškové poměry, terén, geologické poměry v ose průplavu, podzemní vodu, křížení průplavu s toky, železnicemi a silnicemi a také i rozmístění všech provozních objektů průplavu. Rozmístění plavebních stupňů ovlivňuje dopravní kapacitu průplavu a náklady na výstavbu. Z hlediska provozu je výhodné budovat menší počet vyšších stupňů, pokud možno stejných výšek, z důvodu zásobování plavebních komor vodou jako i zachování stejných průplavních časů plavebními komorami. Výška plavebních stupňů a jejich rozmístění závisí na morfologii terénu, úrovni podzemní vody, možnosti výšek násypů a hloubek zářezů a na nutném křížení průplavu s komunikacemi.

Při návrhu průplavu musíme zohlednit tyto možnosti a požadavky:

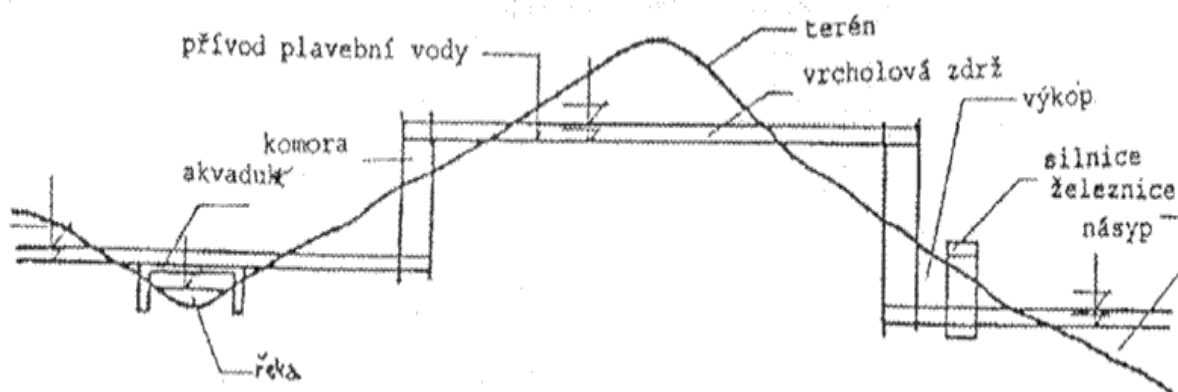
1. Délka zdrží má být taková, aby ztráty vody průsakem, vypařováním, provozem plavebních komor, nevyvolaly výkyvy hladiny větší než 0,5 m, ve vrcholové zdrži 1 m.

2. Těsnění průplavu navrhovat s ohledem na spodní vody v okolí průplavu. V úseku kde hladina podzemní vody je trvale pod úrovní hladiny průplavu, musíme průplav těsnit, aby voda z průplavu neunikala. K těsnění se používá jíl, asfalt, beton, fólie z umělých materiálů apod. Těsnicí vrstva jílu (30 – 50 cm) nebo z plastické fólie či asfaltového koberce musí být chráněna, před proražením kotvami a poškozením lodními šrouby, vrstvou písku, šterku či kamenného pohozu, alespoň 70 cm tlustou. V úseku kde podzemní voda kolísá v rozpětí kolísání hladiny v průplavu, se provádí těsnění s drenáží, aby podzemní voda nenazvedla a nepoškodila těsnění průplavu. V úseku, kde podzemní voda je trvale nad úrovní hladiny průplavu, se těsnění neprovádí.

3. Dno průplavu navrhujeme v mírném sklonu k dolnímu plavebnímu stupni, kde výpustním objektem můžeme průplav úplně vypustit pro revize a opravy. Podélný sklon 5 cm na 1 km (0,05%). Výpustný objekt může být i v určitém úseku průplavu, který vede násypem, sklon se pak z obou stran vede k výpusti.

4. Křížení průplavu s železnicemi a silnicemi, se zpravidla provádí přemostěním nad průplavem. Zřídka se navrhuje křížení pod průplavem, jen tehdy, vede-li se průplav násypem nebo akvaduktem. Křížení s vodními toky může být mimoúrovňové, potok se pak vede pod průplavem shybkou, nebo propustí. Při křížení s většími toky může průplav vést akvaduktem nad ním.

Obrázek č. 5 Schéma podélného profilu průplavu



2.4. Příčný profil vodní cesty

U vodní cesty vedené řekou musí plavební dráha svými parametry splňovat podmínky daného lodního typu. Vlnění při plavbě obvykle vyžaduje výrazně mohutnější opevnění svahů v prostoru rozkvyu plavební hladiny. S výhodou se používá osázení vodními rostlinami (rákosem), které velmi dobře tlumí účinky vlnění, je však nutné je průběžně udržovat.

U umělého průplavu navrhujeme příčný profil na základě klasifikačního zatřídění a závisí na příčném profilu typového člunu nebo lodní sestavy. Zpravidla se volí profil lichoběžníkový nebo miskovitý. I když z plavebního hlediska je nevhodnější profil obdélníkový. Na rozdíl od řeky průplav nedeformuje dno a břehy v důsledku podélného proudění – podélným směrem se pohybuje pouze průtok nutný k proplavování lodí ve stupních. Deformace břehů mohou vzniknout v důsledku vlnění hladiny (kolísá jen v malém rozmezí), deformace dna provozem lodních šroubů.

Navrhované tvary příčných profilů průplavů:

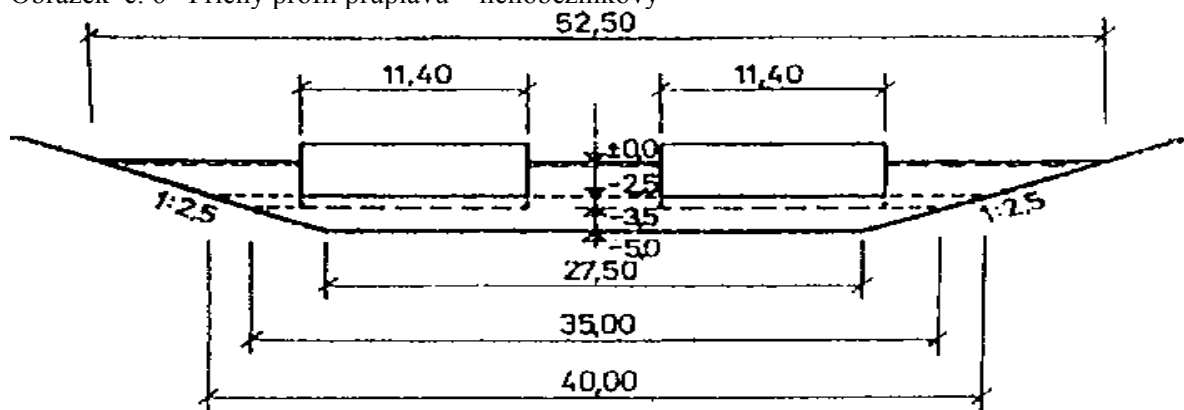
- **obdélníkový tvar**, navrhujeme ho ve stísněných územních podmínkách, vyžaduje nákladné opevnění břehů (nábřežní opěrné zdi), z plavebního hlediska je to tvar nejvýhodnější (nejmenší odpor při plavbě)

- **lichoběžníkový tvar** (obr č. 4), navrhuje se nejčastěji, stavebně je nejjednodušší a ekonomicky nejvýhodnější, vyžaduje si širší záběr území, sklon nezpevněných svahů se navrhuje 1:3 až 1:5, při zpevněných svazích je to sklon 1:2 až 1:2,5, v pevných horninách můžou být svahy výkopů velmi strmé a ve skalách prakticky svislé

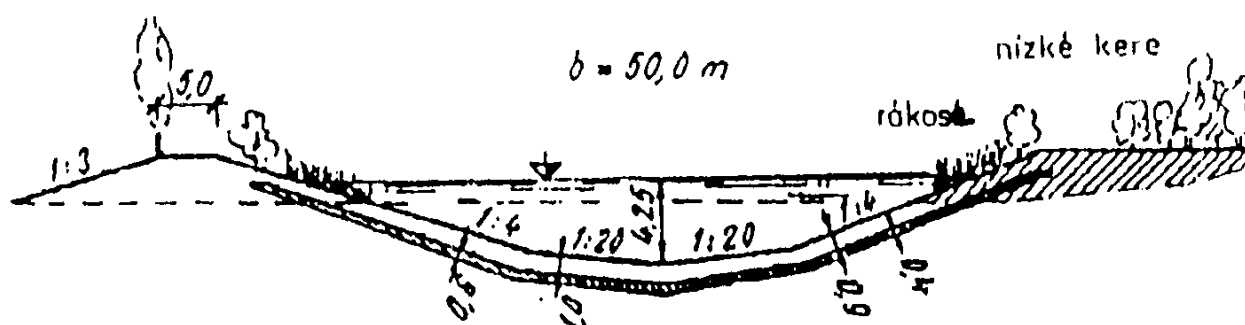
- **miskovitý tvar** (obr č. 5), je často navrhovaným tvarem příčného profilu, stejně jako tvar lichoběžníkový

- **přechodný tvar**, přechod mezi tvarem obdélníkovým a lichoběžníkovým, navrhuje se podle místních a geologických podmínek

Obrázek č. 6 Příčný profil průplavu – lichoběžníkový



Obrázek č. 7 Miskovitý příčný profil



3. Objekty na vodních cestách

Pro provoz vodní cesty je na nich nutné vybudovat potřebné objekty, sloužící především k zvětšení bezpečnosti a plynulosti plavby. Bez některých objektů, plavebních komor a lodních zdvihačů, které překonávají vertikální rozdíly na trasách vodních cest, by plavba na nich nebyla možná vůbec.

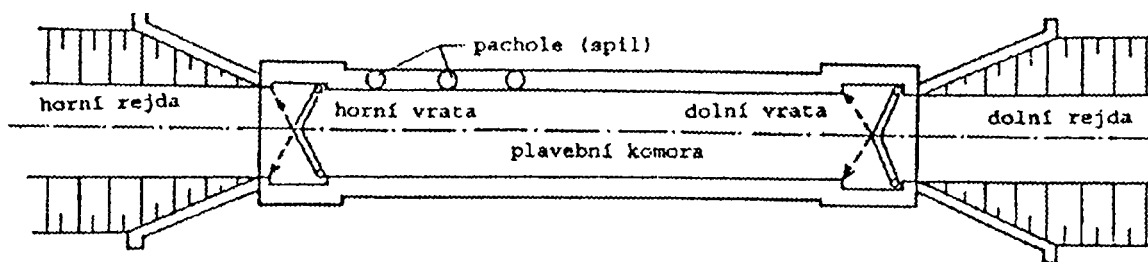
3.1. Plavební komory

Plavební komora je základní stavební konstrukcí při splavňování toků kanalizační metodou, u budování průplavů a plavebních kanálů. Umožňuje plavidlům a lodním sestavám překonání rozdílu hladin v horních a dolních zdržích, vzniklého výstavbou plavebního stupně nebo komplexním řešením hydrouzle. Hydrouzlem se rozumí komplex plavební komory, vodní elektrárny a hatě (přehrady). Na průplavu nebo na plavebním kanálu lze plavební komoru řešit i samostatně (bez vodní elektrárny a hatě).

3.1.1. Účel a funkce plavebních komor

Plavební komora je nejčastěji používá stavební konstrukce na plavební překonávání výškových rozdílů hladin na vodní cestě. Je to v podstatě dlouhá obdélníková nádrž, která v horní i dolní části – horní a dolní zhlaví, má ovladatelné pohyblivé uzávěry – vrata, kterými se uzavírá plavební komora proti horní vodě. Následnou manipulací s uzavíráním a otevíráním vrat, ve spolupráci s plnicím a vyprazdňovacím systémem komory, je umožněn pohyb plavidla ve svislém směru nahoru nebo dolů a rejdou pak je umožněno vyplutí do horní nebo dolní zdrže.

Základní schéma plavební komory je na následujícím obrázku. (obr. č. 8)



Manipulační kroky při proplutí plavidla plavební komorou:

- při proplouvání plavební komorou z horní zdrže do dolní, směrem dolů, je plavební komora plná, horní vrata jsou otevřená a dolní mají funkci hradící konstrukce oddělující horní hladinu od spodní. Po vplutí plavidla z horní rejdy do komory se horní vrata uzavřou a jsou ve funkci hradící konstrukce oddělující horní vodu od plavební komory. Po vyprázdnění plavební komory na úroveň dolní hladiny a při vyrovnání tlaků se otevřou dolní vrata plavební komory a plavidlo může vplout dolní rejdou do dolní zdrže.
- při plutí plavidla z dolní zdrže do horní je hladina vody v komoře v úrovni spodní vody, dolní vrata jsou otevřená a horní jsou ve funkci hradící konstrukce, oddělující horní hladinu od dolní. Po vplutí plavidla do komory se dolní vrata zavřou a plavební komora se naplní až se vyrovnají hladina v komoře s hladinou vody v horní zdrži. Po vyrovnání hladin se horní vrata otevřou a plavidlo vpluje horní rejdou do horní zdrže.

3.1.2. Typy plavebních komor – členění

Navrhování plavební komory, jejích základních rozměrů a kapacitních parametrů jako i navrhování počtu plavebních komor na plavebním stupni závisí na klasifikačním zařazení vodní cesty, na požadavcích dopravy na vodní cestě a na celkových vodohospodářských poměrech. Návrh konstrukčního řešení vlastní plavební komory závisí na rozměrech plavební komory, na systému plnicího a vyprazdňovacího zařízení a zejména na geologických poměrech. Členění plavebních komor se provádí na základě mnoha parametrů.

Základní typy plavebních komor

1. Podle počtu plavebních komor umístěných na vodním stupni za sebou

- *jednostupňové plavební komory* – překonávají celý spád jednou plavební komorou
- *vícestupňové plavební komory* – (z důvodů velkého překonávaného spádu, nebo úspory vody), překonávají spád plavebního stupně vícerymi komorami, s menším spádem, umístěnými z sebou

2. Podle počtu plavebních komor umístěných na plavebním stupni vedle sebe

- *jednoduché plavební komory* jednolodní nebo vlakové
- *dvojitě plavební komory*, zde jsou vybudovány dvě plavební komory, stejných nebo různých velikostí, vedle sebe
- *trojitě plavební komory*, jsou zde vybudovány tři plavební komory o různých rozměrech vedle sebe, slouží ke zvětšení dopravní kapacity vodní cesty

3. Podle počtu současně proplouvajících lodí

- *jednolodní*, umožňují proplutí pouze jedné lodi nebo jednomu člunu s remorkérem
- *vlakové*, umožňují najednou proplutí celé lodní sestavy (lodního vlaku)

4. Podle způsobu plnění a vyprazdňování plavební komory

- *plavební komory s přímým plněním a vyprazdňováním*, používají se při nízkých komorách. Obvykle se komora plní nebo vyprazdňuje otvory ve vratech, které jsou ovládány uzávěry.
- *krátké obtoky*, plnění a vyprazdňování se děje potrubím pouze kolem horních a dolních vrat
- *střední obtoky*, obtoky kolem vrat jsou vedeny pouze do určité vzdálenosti a z nich jsou vyvedeny výtokové otvory přímo do komory, vyprazdňování je samostatné
- *dlouhé obtoky*, obvykle u velkých a vysokých komor. Obtoky jsou vedeny ve stěnách po celé délce komory a propojeny s ní řadou výtokových otvorů pod úrovní hladiny dolní zdrže. Umožňují klidné postupné plnění a prázdnění komory.

5. Podle možnosti úspory vody při proplouvání plavební komorou

- *komory bez úsporných nádrží*, klasické komory bez možnosti ušetření vody
- *komory s úspornými nádržemi*, budují se mimo plavební dráhu, při nedostatku vody a podle jejich počtu lze ušetřit až 3/4 propluvací vody při jenom proplutí
- *sdržené plavební komory*, dvě takřka stejné plavební komory vedle sebe vzájemně propojené a umožňují vyprazdňovat část jedné komory do druhé

6. Podle způsobu proplouvání

- *jednosměrné proplutí*, plavidla proplouvají pouze jedním směrem
- *obousměrné proplutí*, plavidla střídavě proplouvají oběma směry, na horu i dolů

7. Zvláštní typy plavebních komor

- budují se kde je možné oboustranné zatížení tlakem vody při kolísání obou hladin.

Napojení průplavů na přirozenou vodní cestu (kolísání hladiny v toku proti stálé hladině vody v průplavu) nebo na uzavřených mořských přístavech (stálá hladina vody v přístavu proti mořskému přílivu a odlivu). Tyto možnosti je nutno uvažovat při dimenzování vrat a manipulačních uzávěrů plavebních komor.

3.1.3. Plnění a vyprazdňovací systémy plavebních komor

Z nejširšího pohledu, podle způsobu přítoku vody do komory a jeho odtoku z komory rozlišujeme tyto plnění a vyprazdňující systémy plavebních komor.

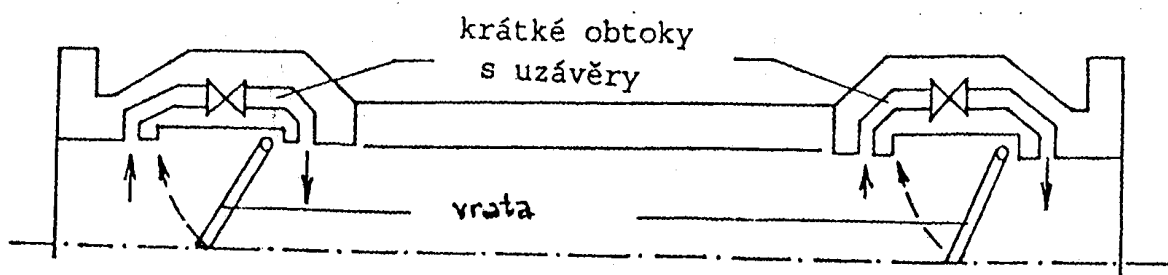
- *přímé plnění a vyprazdňování plavební komory*
- *nepřímé plnění a vyprazdňování plavební komory*

Přímé plnění a vyprazdňování plavební komory je soustředné plnění komory horními vraty. Plnění může být prováděno přímo otvory ve vratech, uzavíratelnými stavidlovými, segmentovými, žaluziovými uzávěry nebo přepadem nad horními vraty, či výtokem pod nimi. Vyprazdňování se nejčastěji provádí uzavíratelnými otvory ve spodní části dolních vrat. Přímé plnění a vyprazdňování je vhodné použít do spádu 8 – 10 metrů. Při větších spádech se přistupuje k návrhu složitějších systému.

Nepřímé plnění a vyprazdňování plavební komory zabezpečuje rovnoměrnější rozdělení přítoku vody do komory a tím i její rychlejší a pro plavidlo bezpečnější plnění komory. Přítok vody je rozdělen do několika vtoků, popřípadě je rovnoměrně rozdělen po celé délce plavební komory v bočních stěnách nebo ve dně plavební komory. Čím větší spád a půdorysné rozměry plavební komory navrhujeme, tím složitější a komplikovanější je systém plnění a vyprazdňování. Na základě vyústění plnicích otvorů v komoře lze rozlišovat nepřímé plnění a vyprazdňování jako plnění:

- krátkými obtoky
- středními obtoky
- dlouhými obtoky

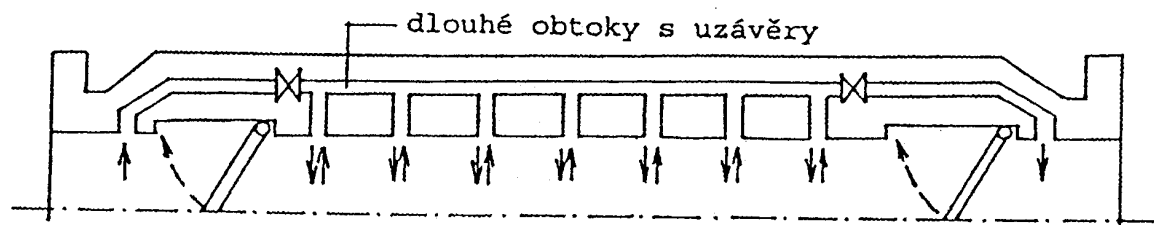
Krátké obtoky, jsou z hydraulického hlediska také soustředným plněním podobně jako je přímé plnění. Voda se však do komory nedostává skrz horní vrata, ale přes obtoky, umístěné v horním zhlaví, obtékající horní vrata. Obtoky jsou uzavíratelné manipulačními uzávěry podle funkčního stavu proplouvání. Krátké obtoky se navrhuje pro střední spády do výšky 12 až 14 metrů. Vyprazdňování komory je řešeno stejně jako její plnění rovněž obtoky kolem dolních vrat.



Krátké obtoky - obrázek č.9

U středních obtoků, se voda do komory vede podélnými kanálky (obtoky) v boční stěně a z nich vtokovými otvory (vtoky) vytéká v příčném směru do plavební komory. Obtoky i vtoky do komory se u středních obtoků budují jen na určitých částech plavební komory, zhruba na 1/3 až 1/2 délky plavební komory. Překonávané spády při použití tohoto systému jsou většinou do 14 metrů. Vyprazdňování plavební komory se v tomto plnicím systému provádí buď jako přímé (otvory v dolních vratech), ale většinou systémem krátkých obtoků kolem spodních vrat.

Použitím systému s *dlouhými obtoky* se voda do plavební komory vede podélnými kanály (dlouhými obtoky), umístěnými v bočních zdech, popřípadě ve dně plavební komory. Voda vytéká kolmo do komory malými otvory umístěnými ve stěně u dna komory. Tyto příčné výtokové otvory se doporučují umísťovat střídavě proti sobě, aby proud přitékající vody narážel nerušeně na druhou stranu komory, z důvodů klidného a rovnoměrného plnění plavební komory.

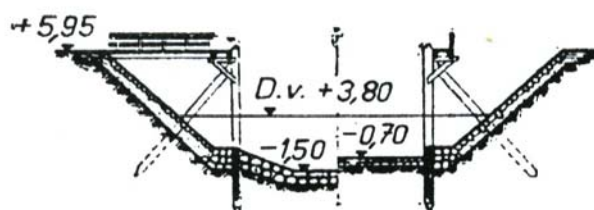


Dlouhé obtoky - Obrázek č. 10

3.1.4. Konstrukční řešení vlastní plavební komory

Pod pojmem vlastní plavební komora rozumíme střední část plavební komory mezi horním a dolním zhlavím. Její konstrukční řešení závisí v první řadě na geologických podmínkách podloží, překonávaném spádu, půdorysných rozměrech plavební komory a na volbě vyprazdňujícího systému.

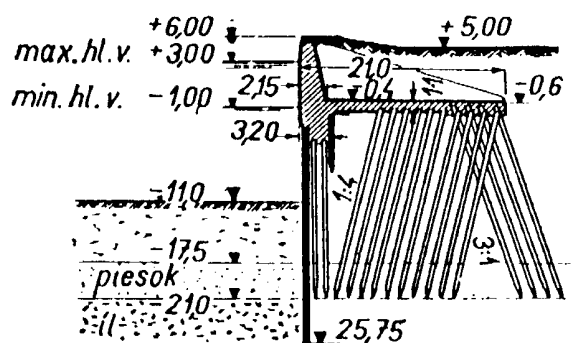
1. *Plavební komory vytvořené jako koryto toku se zpevněnými bočními svahy.* Jsou to komory s propustným dnem i s propustnými svahy. Tento typ plavebních komor je vhodný pouze pro malé spády a budoval se pouze na lokálních vodních cestách menších rozměrů. Plnění a vyprazdňování se navrhuje přímé. Pro nerušený provoz je nutno v nich budovat svislá svodidla, která udržují plavidlo v střední části komory a zabraňují při vyprazdňování komory sednutí plavidla na svahy komory.



Obrázek č. 11 Plavební komora jako koryto toku se svodidly a zpevněnými svahy.

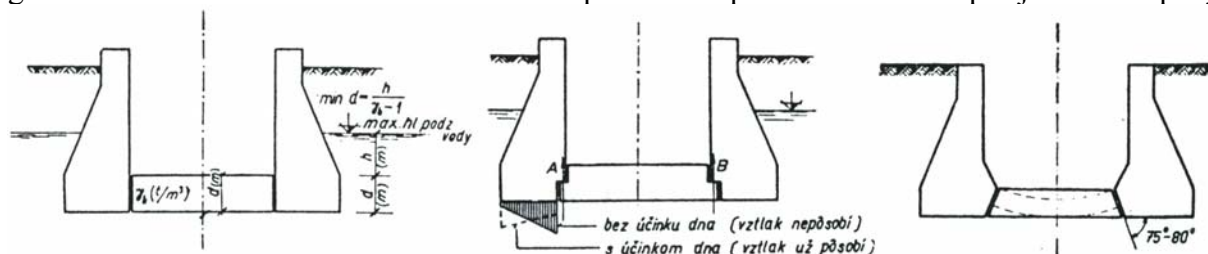
2. *Plavební komory s bočními stěnami z ocelových štětovic.* Tento typ komory lze budovat v písčítých, hlinitých a jílovitých zeminách. Stěny komory vytvořené ze štětovic jsou nepropustné a dno komory, chráněné dlažbou, je propustné a vyžaduje si úpravy zabraňující vyplavování drobných částic. Tento typ plavebních komor je vhodný pro menší a střední spády, jejich konstrukce je dána délkou štětovic ta je obvykle 16 m. Nejvhodnější plnicí a vyprazdňující systémy jsou přímým plněním nebo krátkými obtoky.

3. *Plavební komory vytvořené z bočních zdí na vysokém pilotovém roště.* Budují se rovněž v jemnozrnných zeminách. Většinou v přímořských oblastech kde je potřebná velká plavební hloubka pro mořské lodě. Celá konstrukce se skládá ze skupin svislých a šikmých betonových pilot, ze svislé štětovicové stěny, která vytváří boční zeď plavební komory a z obyčejné betonové zdi, připojené na hlavy jednotlivých pilot betonovou deskou. Vlastní boční zeď je vybudována pouze těsně pod minimální vodní hladinu. Překonávaný spád použitím této konstrukce je závislý na délce pilot – až 25 m.



Obrázek č. 12 . Zed' Plavební komora z bočních zdí na vysokém pilotovém roště

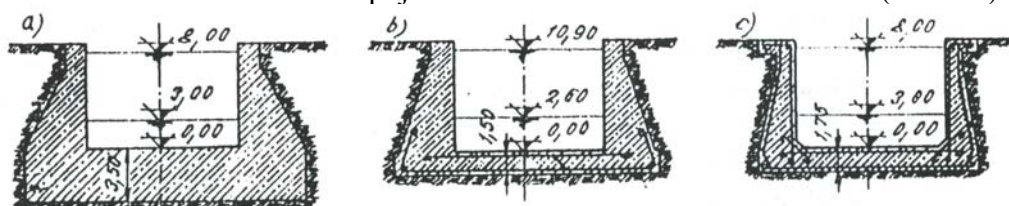
5. *Plavební komory s bočními gravitačními zdmi a s oddílatovanou dnovou deskou.* U méně odolného skalního podloží nebo u jiného propustného materiálu v podloží, kde hrozí porušení dna a podzákladí vlivem kolísání hladiny v plavební komoře, navrhujeme konstrukci vlastní plavební komory vytvořenou z bočních gravitačních zdí a dnové desky, která má funkci ochrannou a statickou. Dnová deska může být vybudována jako masivní betonová deska oddělená od bočních zdí svislou spárou, nebo jako železobetonová deska oddělená od bočních gravitačních zdí šikmou nebo lomenou odstupňovanou spárou. Konstrukci pro jakékoliv spády.



Obrázek č. 13 Plavební komory s bočními zdmi a s oddílatovanou dnovou deskou

6. *Monolitické plavební komory polorámového typu.* U propustného a pružného podloží s možností průsaku vody se doporučuje navrhovat monolitické plavební komory polorámového typu tvaru U, konstruované z betonu nebo ze železobetonu. Tento typ je vlastně pevné spojení bočních zdí dnovou deskou plavební komory. Umožňuje rovnoměrné rozdělení tlaku na velkou lochu základové spáry celé komory. Polorámová plavební komora může být vytvořená jako:

- masivní boční zdi spojené masivní dnovou deskou (obr. 13a)
- masivní boční zdi spojené tenkou železobetonovou deskou (obr. 13b)
- štíhlé boční zdi spojené tenkou železobetonovou deskou (obr. 13c)



Obrázek č. 14
Polorámové plavební komory

Budování těchto monolitických plavebních komor je morně rozšířené a lze je budovat v každých geologických podmínkách a za každých spádových a rozměrových situací.

4. *Plavební komory s bočními gravitačními zdmi bez dnové desky.* Tato konstrukce je vhodná použít v dobrých geologických podmínkách – ve skalním podloží. Profil plavební komory je vytvořený bočními zdmi založenými ve sklaním podloží. Dno komory tvoří skála, proto dnová deska je v tomto případě zbytečná. Tuto konstrukci lze použít na překonávání jakýchkoliv spádů a lze rovněž použít libovolné systémy plnění a vyprazdňování.

7. *Plavební komory vytvořené z prefabrikovaných a montovaných částí.* Pravidelnost profilu plavební komory po celé jeho délce dává předpoklady k použití železobetonových prefabrikátů. Výhoda použití prefabrikátů se znásobuje při výstavbě více stejných komor na splavňovaném toku. Železobetonové prefabrikáty jsou obvykle tvaru **L** a jejich stabilitu zabezpečuje kotvení a zatěžující zemina bočního svahu.

3.1.5. Vrata plavebních komor

Vrata plavebních komor jsou vlastně pohyblivou hradicí konstrukcí oddělující hladinu horní vody od vody dolní. Můžou být z různého materiálu, v minulosti dřevěné, v současné době už většinou ocelové konstrukce vrat. Jsou umístěny v horním zhlaví (horní vrata) a v dolním zhlaví (dolní vrata) plavební komory, nebo rozdělují komoru na dvě části (stření vrata), za účelem šetření vody a urychlení proplutí menších lodních sestav komorou. Vrata musí být bezpečné a lehce ovladatelné za každého počasí. V našich podmínkách se při zimním provozu vrata obvykle nahřívají, aby nezamrzly. Vrata plavebních komor rozdělujeme podle jejich konstrukčního řešení.

Podle konstrukčního řešení vrat a jejich manipulace v provozu, rozdělujeme vrata na několik základních typů. Jejich konstrukční řešení závisí na maximálním překonávaném spádu plavební komorou, na třídě vodní cesty a taktéž na požadovaných parametrech plavební dráhy a plavební komory, jako i na různých provozních a meteorologických poměrech. Převýšení horní hrany vrat nad maximální plavební hladinou horní zdrže se doporučuje 0,3 až 0,5 m, u dlouhých zdrží ve směru převládajícího větru (velké vlny) i 1m. Mechanické ovládání vrat, které převládalo v minulosti se nahrazuje v současnosti hydraulickým ovládáním s různými možnostmi řešení.

Podle konstrukčního uspořádání rozlišujeme vrata :

1. *Opěrná, desková vrata*, konstrukčně velmi podobné vzpěrným vratům, avšak zatížení se přenáší do prahu záporníkem, do horního vodorovného nosníku (přemostění) a přímo do bočních zdí. Přemostění, boční zdi a dno komory (záporník) vytvářejí jsou tak pro opěrná vrata uzavřenu rámovou konstrukcí, neboť vrata se o ně opírají. Opěrná vrata se budují pro větší spády. Je zde nutno zabezpečit dostatečnou podjezdnou výšku pod přemostěním plavební komory. Opěrná vrata je vhodné používat na regionálních vodních cestách menších parametrů jako jednovrátnové, kde je využita tuhost rámové konstrukce vrat.

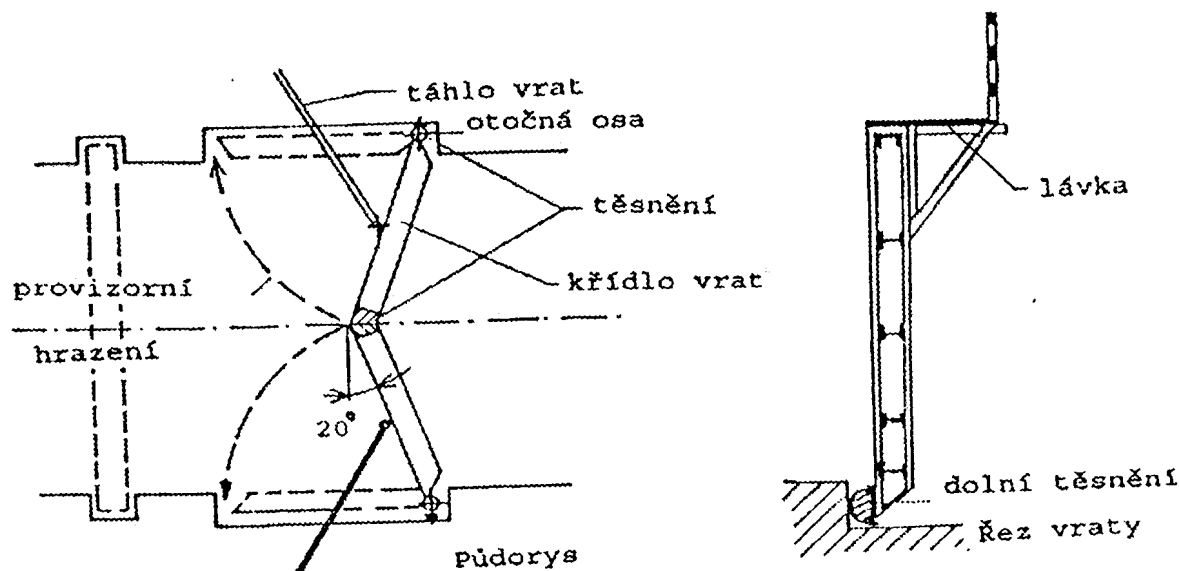
2. *Stavidlová vrata*, jsou konstrukčně řešené jako stavidlové uzávěry přehrad. Byli a jsou často používanými typy vrat na horním, dolním a středním zhlaví plavebních komor velkých rozměrů a spádů. Stavidlová vrata mohou být navrhované jako jednodílné i dvojdílné a to jako: zdvižné, spustné, zdvižně-spustné, popřípadě při nedostatečné podjezdné výšce jako zdvižné-sklopné. U navrhování stavidlových vrat je základní podmínkou stanovení dostatečné podjezdné výšky.

3. *Vzpěrná vrata*, prakticky nejstarší typ vrat známý v Evropě a stále nejpoužívanější. Základní princip řešení načrtl Leonardo da Vinci a v současné době se navrhují vzpěrná vrata na stejném principu pouze s uplatňováním nejnovější konstrukční techniky a ovládání.

Vzpěrná vrata se skládají z dvou samostatných křídel – tzv. vrátní, otočných kolem svislé osy. V hradicí funkci, při rozdělení hladin, jsou vrátně o sebe střechovitě vzepřené pod úhlem 136° až 140°, což odpovídá nejvhodnějšímu statickému řešení. Zatížení se takto pak přenáší do bočních

zdi zhlaví. V nefunkční poloze, při vyrovnání hladin, jsou zasunuté v bočních výklencích zhlaví, aby byla zachována požadovaná šířka plavební komory.

Použití vzpěrných vrat je vhodné pro všechny typy a rozměry plavebních komor, pro malé i velké spády (20 m), jako i pro malé a velké šířky (až 36 m) plavebních komor.



Obrázek č. 15 Schéma vzpěrných vrat

4. *Zasouvací vrata*, konstrukčně jsou řešené jako deskové hradící těleso, které se při otvírání zasouvá do výklenku ve zhlaví a to kolmo na osu komory. Můžou být jednokřídlové pro menší šířky a dvoukřídlové pro větší šířky plavebních komor. Na vnitrozemských vodních cestách se používají docela výjimečně. Častěji se používají jako uzávěry bazénů mořských přístavů proti kolísání výšky hladiny při odlivu a přílivu.

5. *Vějířová vrata*, konstrukčně jsou řešené jako dvě křídla válcové výseče, otočné kolem svých svislých os. Při otevírání se zasouvají do velkých výklenků v bočních zdech zhlaví. V současnosti se nenavrhují, v minulosti se používali u malých komor s nízkým spádem (2 m).

6. *Segmentová vrata*, konstrukčně řešené jako klasické segmentové pohyblivé přehradní uzávěry – část válce s osou otáčení kolem vodorovné osy. Zatížení se přenáší rameny segmentu do bočních zdí. Ramena segmentu jsou většinou kolmá a zapuštěná ve výklenků zhlaví na osazených čepích (kloubech), v kterých se otáčejí.

7. *Speciální druhy vrat*, jsou v podstatě ojedinělá řešení, respektující požadavky a možnosti konkrétních podmínek. Můžeme mezi ně řadit i zdvižně-sklopné vrata a různé doposud nezrealizované návrhy vrat plavebních komor.

3.1.6. Výstroj plavebních komor

K základnímu technologickému vybavení plavební komory, zabezpečující její funkci, a bezpečné proplutí plavidel, patří výstroj plavební komory dalším zařízením. Tyto zařízení zvyšují bezpečnost plavby, ulehčují obsluhu a vlastní provoz komory, jako i vplutí a vyplutí plavidel do (z) komory a provoz v rejdách. Základní výstroj plavební komory je:

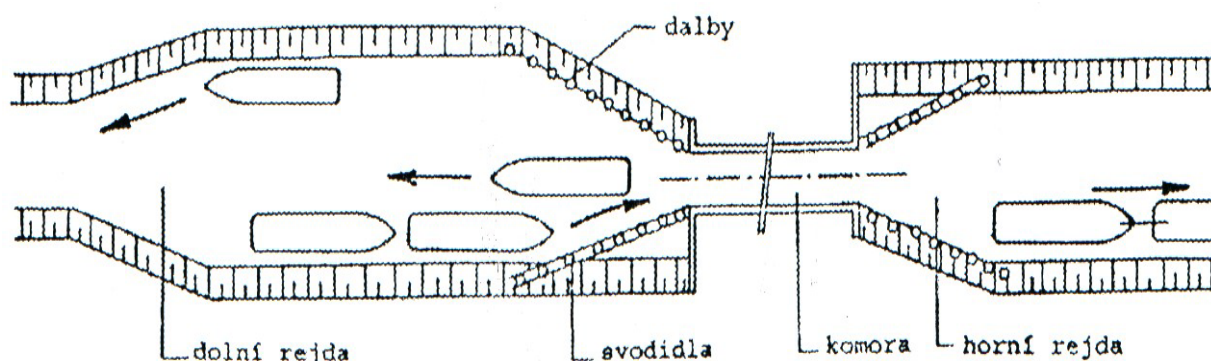
- přivazovací zařízení – pacholata, přivazovací trny, kruhy a háky

- žebříky – až na dno komory, co 20 m
- signalizace – barevné terče a světelné semaforey řídící provoz proplouvání
- třecí rámce – dřevěné svislé nebo vodorovné, tlumí nárazy lodí do stěn komory
- osvětlení – provoz komory v noci a za zhoršených viditelnostních podmínek
- centrální ovládání – ovládá veškerá zařízení plavební komory z přehledného místa
- automatizace provozu – plně automatizována komora

3.1.7. Rejdy plavebních komor

Rejdy jsou vodní plochy před a za plavební komorou, slouží k manipulaci se čluny a soupravami při proplavování z jedné nádrže do druhé, umožňují vyčkávání plavidel před obsazenou plavební komorou, umožňují vzájemné vyhýbání plavidel, které plavou v protisměru, popřípadě umožňují předbíhání plavidel, která mají být přeplavena komorou přednostně. Mohou sloužit i k překládání materiálu, přezimování lodí, apod.

Délka, šířka a hloubka rejdy se navrhuje podle lodního typu, způsobu a hustoty plavby. Rozměry musí umožňovat optimální manipulaci s čluny a plynulý provoz. Bezpečný vjezd a výjezd z plavební komory do rejdy je vymezen svodidly (vodorovné dřevěné trámy) nebo dalbami (řady pilot). Na dalbách i svodidlech jsou umístěna pacholata k uvazování člunů.



Obrázek č. 16 Schéma uspořádání rejdy plavební komory

Plavební komora je nejpoužívanější zařízení sloužící k překonávání výškových rozdílů hladin plavebních stupňů. Plavební komora je vhodná pro kanalizované řeky a průplavy s dostatkem vody na proplouvání a do spádu 20 až 25 m. Nejvyšší doposud vybudovaná plavební komora, Ust' – Kamenogorsk na Irtyši (překonává spád 42,5 m), a několik plavebních komor se spádem přes 30 m dokazují snahu o řešení plavebních komor s vyššími spády. Tyto komory však vykazují velkou spotřebu vody, značně prodlužují čas proplutí komorou a zejména si vyžadují technicky velmi náročné konstrukční řešení.

3.2. Lodní zdvihadla

Na vodních cestách s nedostatkem vody, zejména na průplavech, při potřebě překonávání velkých spádů, až do 100 m nebo pro snížení spotřeby průplavné vody byla vyvinuta zařízení s minimální spotřebou – lodní zdvihadla. Výškově přemísťují buď samostatnou loď nebo loď i se žlabem naplněným vodou ve svislém nebo šikmém směru. Hmotnost naplněného žlabu s člunem dosahuje několika tisíc tun, tomu odpovídá mohutnost zařízení. Takto lze překonávat velké spády při minimální spotřebě průplavné vody – pouze ztráty při připojování žlabu na průplav.

3.2.1. Rozdělení lodních zdvihadel podle směru pohybu

1. *Svislá lodní zdvihadla*, které podle způsobů zvedání žlabu mohou být:

- pístová lodní zdvihadla
- plováková lodní zdvihadla
- zdvihadla vyvážená protizávažím
- speciální typy svislých zdvihadel – zatím pouze navržené doposud nezrealizované

2. *Šikmá lodní zdvihadla*, která podle situování žlabu vzhledem na směr jeho pohybu jsou:

- šikmá zdvihadla s podélně uloženým žlabem
- šikmá lodní zdvihadla s příčně uloženým žlabem

3. *Vzdouvací žlaby*

U lodních zdvihadel stejně jako u plavebních komor se budují v horní i dolní zdrži rejdy, které mají stejnou funkci jako u plavebních komor a jejich parametry jsou dané třídou vodní cesty.

Přílehlá dolní a horní zdrž je vždy uzavíratelná pohyblivými vraty. Nejpoužívanější jsou zdvižná stavělová vrata. Dolní zdrž se většinou přímo napojuje na dolní čelo žlabu. Horní zdrž je napojená na horní čelo žlabu ve většině případech akvaduktem.

3.2.2. Svislá lodní zdvihadla

Svislé lodní zdvihadlo, které přepravuje plavidlo ve vertikálním směru se skládá z těchto základních částí:

- vodorovný ocelový žlab naplněný vodou, v čelech uzavřený vraty, v kterém je plavidlo přepravováno z jedné zdrže do druhé
- zařízení na vyvážení, zvedání a spouštění žlabu
- vodící a nosná konstrukce ve svislém směru
- aretační zařízení

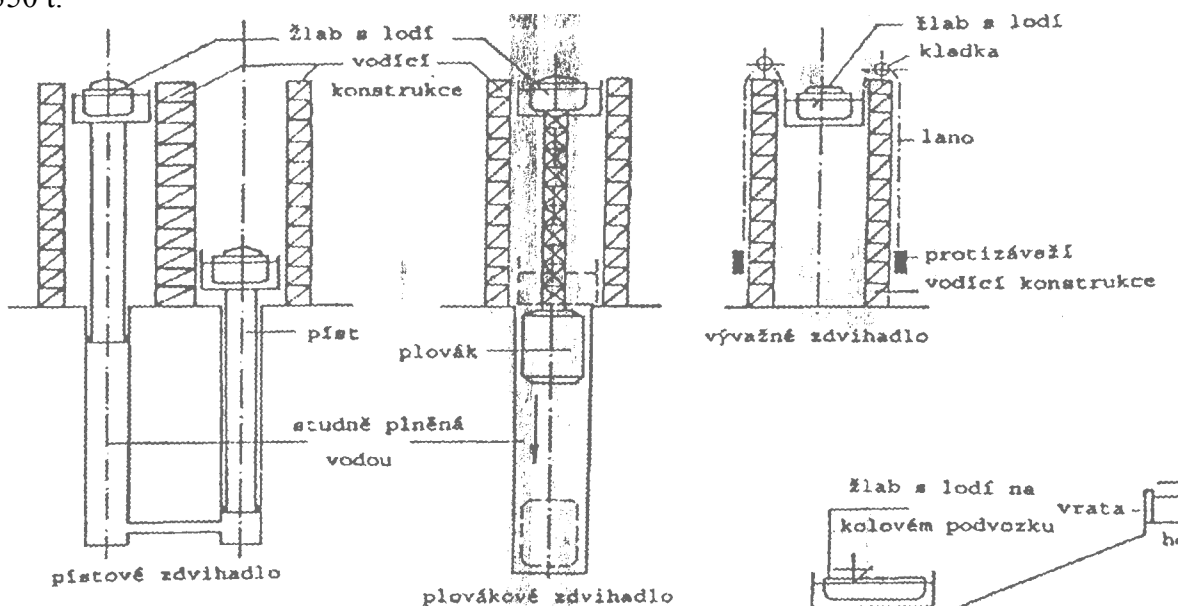
U pístového zdvihadla jsou dva žlaby vedle sebe usazeny na pístech pohybujících se ve studních naplněných vodou a navzájem propojených. Oba žlaby s vodou a lodí jsou v rovnováze. Připouštěním vody do horního žlabu se zvýší hmotnost, žlab klesá a zároveň vytlačuje druhý žlab i s lodí vzhůru. V současné době se už nenavrhují, velké provozní problémy – časté poruchy pístů, při provozu musí fungovat oba žlaby, nestačí pouze jeden.

U plovákových zdvihadel je žlab s vodou a lodí vyvážen velikostí plováku. Plováky se pohybují ve svislých šachtách naplněných vodou. Musí být ponořeny v každé výškové poloze žlabu, aby jejich konstantní vztlak byl vždy v rovnováze s tíhou žlabu. Pohyb je mechanický a na překonání odporu proti pohybu stačí poměrně malá síla. Zatím nejvyšší plovákové zdvihadlo je 18,7 m. nevýhodou jsou jejich velmi hluboké plovákové šachty.

Lodní zdvihadla s protizávažím, vzhledem na to, že si nevyžadují zakládání hlubokých šachet jako pístové nebo plovákové jsou využitelné pro vysoké spády. Naplněný žlab s vodou se pohybuje na lanech s vyváženými protizávažími na mohutné portálové konstrukci. Napříč tomu, že nosná konstrukce přenáší více než dvojnásobek hmotnosti žlabu má tento druh lodních zdvihadel přednost před dvěma předchozími. Je to z důvodů jednoduššího plošného zakládání, jednoduchosti portálové nosné konstrukce a především provozní spolehlivosti.

Zatím nejvyšším lodním zdvihadlem s protizávažím je lodní zdvihadlo Strépy – Thieu, které překonává spád 73,8 m. Je vybudované v rámci rekonstrukce průplavu Canal du Center v Belgii.

Samostatná konstrukce zdvihadla je vysoká více než 100 m. Je vybudováno pro lodě o nosnosti 1 350 t.



Obrázek č. 17 Principy svislých lodních zdvihadel

3.2.3. Šikmá lodní zdvihadla

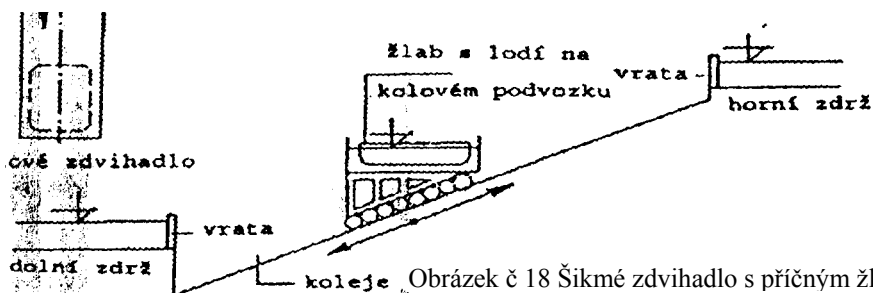
Šikmá lodní zdvihadla neboli tzv. lodní železnice, jsou žlaby nebo plošiny, které jsou uloženy na kolejových podvozcích a pohybují se i s lodí po šikmé kolejnicové dráze z jedné zdrže vodní cesty do druhé. Jako tažné zařízení se používají různé typy motorů, nebo vlakové lokomotivy. V podstatě můžou překonávat libovolný spád, potřebné je, aby sklon terénu byl přibližně konstantní a aby svah byl stabilní. Lodní žlaby šikmých zdvihadel jsou většinou mechanicky vyvážené, takže tažná zařízení překonávají pouze tření v podvozcích a ztráty v převodech.

Výhodou šikmých lodních zdvihadel je, že nepotřebují mohutnou nosnou konstrukci. Taktéž údržba a opravy žlabů a pohonných mechanismů je poměrně dobře přístupná a jednoduchá.

Nevýhodou je potřeba dodržování poměrně malých hodnot zrychlení a zpomalování na začátku a konci pohybu, aby se udrželo kolísání hladiny ve žlabu v přípustných mezích z důvodů bezpečnosti plavidel.

Šikmá lodní zdvihadla s podélným uložením žlabu jsou vhodné pro menší sklony šikmé kolejnicové dráhy. Kolejová dráha je situována v prodloužené ose plavební dráhy přilehlých zdrží, které jsou uzavřeny stavidlovými vraty. Podélný sklon u tohoto způsobu uložení žlabu se pohybuje od 1:10 až do 1:50. Žlab se pohybuje konstantní rychlostí od 0,6 do 1,4 m/s. Nejvyšší lodní zdvihadlo s tímto uspořádáním žlabu bylo vybudované na Jeniseji u přehrady Krasnojarsk a překonává spád 101 m. Je navrženo pro lodě o nosnosti do 2000t.

Šikmá lodní zdvihadla s příčně uloženým žlabem jsou vhodné pro velké sklony a spády, přičemž je vhodné vést trasy obou zdrží po vrstevnicích. Používaný, poměrně strmý sklon je od 1:8 až po 1:2. U tohoto způsobu (s příčně uloženým žlabem), je v porovnání s podélně uloženým žlabem, potřebná mnohem menší délka kolejové dráhy, avšak její šířka je podstatně větší. Výhodou je

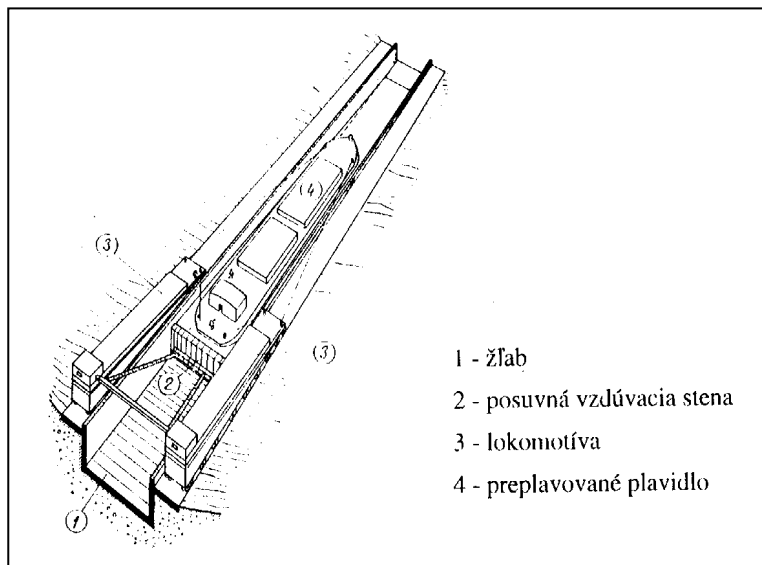


Obrázek č. 18 Šikmé zdvihadlo s příčným žlabem

poměrně malé rozkolísání hladin při rozbíhání a dobřzd'ování, a tím i působení malých sil na plavidlo ve žlabu během posunu.

3.2.4. Vzduovací žlaby

Vzdouvací žlaby (obr 19) jsou speciálními zařízeními, podobné šikmým zdvihacím. Skládají se z šikmého žlabu s konstantním sklonem, ve kterém se pohybuje vzdouvací stěna, která před sebou zabezpečuje potřebnou hloubku vody pro plavidlo. Pohyb zajišťuje dvě dieselelektrické lokomotivy. Sklon šikmého svahu se doporučuje v rozmezí od 1:30 do 1:50 a dopravní rychlost se pohybuje v rozmezí od 1,5 do 2,5 m/s. Doposud byly na světě vybudovány pouze dvě zdvihací tohoto typu.



Obrázek č. 19 Lodní vzdouvací s posuvnou vzdouvací stěnou

3.3. Porovnání plavebních komor a lodních zdvihadel

V porovnání s plavebními komorami můžeme konstatovat, že v praxi i napříč některým podstatným výhodám oproti plavebním komorám se lodní zdvihací sloužící k překonávání výškových rozdílů plavebních stupňů používají méně.

Výhody lodních zdvihadel:

- možnost překonávání vyšších spádů, u lodních železnic neomezeně
- mnohem větší rychlosti překonávání spádu než v plavebních komorách
- vysoký dopravní výkon
- zanedbatelná spotřeba vody, jen ztráty průsakem nebo poškozeným těsněním
- žádné nepříznivé vlivy na hladinu v horní a dolní zdrži

Nevýhody lodních zdvihadel:

- konstrukční složitost a náročnost na kvalitu provedení
- větší možnost poškození a tím i větší nároky na obsluhu a údržbu
- u některých typů náročné základové poměry
- vzhledem k velikosti žlabu možnost přepravování jen jednotlivých lodí nebo krátkých sestav, z čehož vyplývá nutnost rozpojovat větší lodní sestavy.

4. Plavební prostředky

Vodní doprava se na vnitrozemských vodních cestách vykonává na plavidlech, která mají své specifické podmínky a požadavky jak při jejich stavbě tak i při jejich provozu. Nevýhodou vodní dopravy je malá rychlost plavebních prostředků. K dopravě se používají lodě s vlastním pohonem, motorové, nebo bez pohonu – nákladní lodě (čluny).

4.1. Plavba a odpor lodě při plavbě

Teoretickým základem lodního stavitelství, stability lodí a plavby je *Archimédův zákon*. Plavidlo plave na hladině vody, přičemž jeho část je ponořená do vody. *Výtlak vody* – D , je hmotnost vody vytlačované částí ponořeného plavidla. Rovná se hmotnost G celé lodě i s příslušným nákladem (tuny). Rovina vodní hladiny, která protíná plavidlo, vytváří *plavební plochu*. Čára ohraničující plavební plochu je *plavební čára* tzv. *čára ponoru*. *Ponor lodě* je hloubka nejnižšího bodu plavidla pod hladinou vody.

Pro plavbu je důležitá *stabilita lodě*, tj. schopnost lodě vychýlené z rovnovážné polohy vrátit se do ní zpět. Loď se může naklánět kolem svých hlavních os, přičemž naklonění v příčném směru je *výkyv plavidla* a naklonění v podélném směru je *sklon plavidla*.

Další sledované charakteristiky plavidel:

- součinitel prostorové plnosti lodě $P = l \cdot b \cdot t$
- poměry hlavních rozměrů lodě l/b a b/t
- plnost hlavní vodorysky $\alpha = S_v / l \cdot b$
- plnost hlavního žebra $\beta = f / b \cdot t$
- podélná plnost $\varphi = V / f \cdot l$

Kde: l ... délka lodě, b ... šířka lodě, t ...ponor, f ...plocha daného žebra, V ...objem vody vytlačené plavidlem, S_v ...plocha hlavní vodorysky (vodoryska – průsečnice rovin rovnoběžných s vodní hladinou a povrchem trupu lodě)

Důležitou charakteristikou je stanovení *odporu lodě při plavbě*. Má zásadní význam při návrhu tvaru plavidla, pro dimenzování konstrukce, pro určení potřebného výkonu hnacího zařízení jako i pro návrh vhodných technických parametrů vodní cesty a opevnění svahů. Jeho zjišťování je velmi složitý hydraulický problém. Celkový odpor při plavbě můžeme určit jako:

$$R = R_T + R_F + R_V$$

R_T ...odpor třením vody o ponořený povrch lodě; R_F ...odpor tvaru lodě; R_V ...odpor vln

Celkový odpor lodě při plavbě R je funkční závislostí:

$$R = f(\xi, \rho, g, v, S)$$

kde ξ je bezrozměrný součinitel odporu dané lodě, je funkcí Reynoldsova čísla Re ;

ρ ...měrná hmotnost vody (t/m^3);

g ...gravitační zrychlení;

v ...rychlost lodě v neproudící vodě vzhledem ke dnu (m/s);

S ...plocha smočeného trupu lodě (m^2);

Odpor lodě při plavbě závisí rovněž na parametrech vodní cesty ve vztahu k parametrům lodě. Podle Geberse na vodní cestě, která je 15x širší než loď a 20x hlubší než je maximální ponor lodě, nedochází k ovlivňování odporu plovoucí lodě a hovoříme o *neomezené vodní cestě*. Menší hodnoty šířky a hloubky vyvolávají zvýšení odporu lodě při plavbě a jedná se tedy o *omezenou vodní cestu*.

4.2. Základní typy říčních lodí

Podle používání na vnitrozemských vodních cestách můžeme plavidla dělit podle několika hledisek.

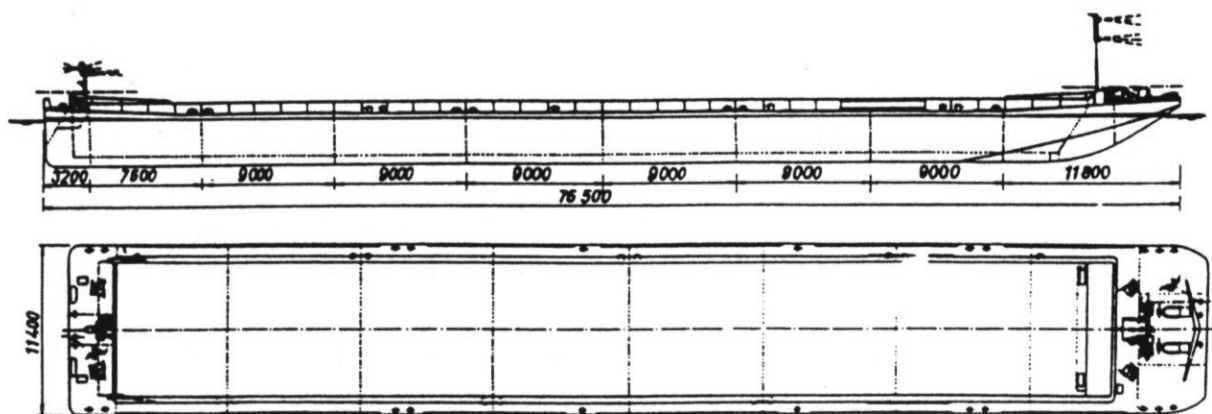
1. podle účelu – lodě, technická plavidla, speciální plavidla, vory ...
2. podle způsobu jejich pohonu – s vlastním nebo bez vlastního pohonu
3. podle užití hnací síly – motorové a elektrické lodě, plachetnice, parníky ...
4. podle konstrukčního materiálu – dřevěné, ocelové, z lehkých kovů, smíšené, ...
5. podle druhu vodní cesty – říční, průplavní, jezerní, přístavní – bukséry, námořní ...

Pro vnitrozemskou plavbu je důležité rozlišovat lodě z hlediska pohonu:

Říční lodě s vlastním pohonem jsou poháněné různými typy motorů instalovanými přímo na lodi. Osobní lodě slouží pro přepravu osob. Nákladní slouží k přepravě nákladů. Remorkéry jsou vlečné, tlačné a kombinované, slouží na přepravu lodí bez vlastního pohonu (nákladní čluny). Bukséry jsou malé přístavní remorkéry sloužící k přemisťování lodí v přístavech. Říčně-námořní lodě jsou přizpůsobeny pro plavbu na větších vnitrozemských vodních cestách a na kabotážní plavbu (pobřežní námořní plavba).

Říční lodě bez vlastního pohonu nazýváme čluny (nákladní čluny), používají se většinou k přepravě zboží a nákladů. Můžou být otevřené pro přepravu rudy, uhlí, kamene, dřeva, ocelových výrobků a kontajnerů, anebo uzavřené pro přepravu obilí, chemických výrobků, soli a cementu. Při plavbě se buď vlečou na laně za remorkérem, anebo se před ním tlačí. Tyto nákladní čluny mají velkou nosnost při své malé hmotnosti (váží asi 20% plného nákladu člunu). Podle úpravy tvaru trupu a způsobu plavby jsou čluny vlečné a tlačné. Vlečné čluny jsou upraveny pro vlek na laně za remorkérem. Mají zašpičatěnou přední a zaoblenou zadní část, kde je umístěno vlastní kormidlo. Vlečné čluny se postupně vyřazují z provozu a nahrazují se čluny tlačnými. Tlačné čluny jsou určeny pro postrk před remorkérem. Mají v půdoryse obdélníkový tvar a sáňkovitě podseknutou přední část. tlačný člun nemá vlastní kormidlo, posádku ani ubytovací prostory.

Základním typem tlačného člunu evropské třídy je člun Evropa II a Evropa II b o rozměrech 76,5 x 11,5 x 2-3,5m (obr. č. 20).



Obrázek č. 20 Tlačný člun Evropa II

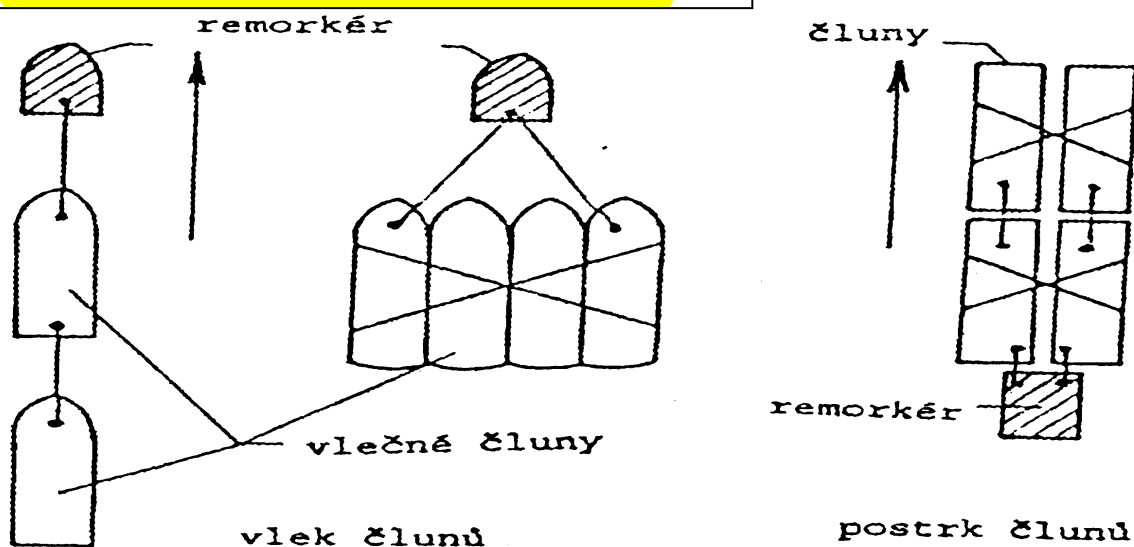
4.3. Technologie plavby

Lodní trakce je způsob jakým se čluny uvádějí, ovládají a udržují se v pohybu. Používají se dva základní duhy lodní trakce. Lodní remorkáž – vlečení nebo tlačení člunů remorkéry a lodní potah – vlečení člunů ze břehu.

4.3.1. Lodní remorkáž

Jde o soustavu nákladních člunů a remorkérů. Podle způsobů připojení člunů k remorkéru rozlišujeme remorkáž tažnou a tlačnou (obr.1). U tažného způsobu remorkáže remorkér dopravované čluny vleče za sebou na lanech, popřípadě je má upevněny vedle sebe. U tlačné remorkáže jsou čluny remorkérem tlačeny. V současnosti převládá tlačný způsob remorkáže.

Obrázek č. 21 Tažná a tlačná remorkáž – způsob řazení



Lodní vlek – tzv. **tažnou remorkáž**, tvoří remorkér a vlečené dopravní čluny, tzv. závěs s vlastní lodní posádkou. Na každém vlečeném člunu je vlastní kormidlo a posádka. Podle charakteru vodní cesty a jejich základní parametrů (hloubka, šířka, poloměry oblouků a rychlost proudící vody) může být uspořádání člunů v závěse různé:

- jednořadý vlek - remorkér táhne závěs složený z jednoho nebo více člunů, umístěných za sebou
- dvojřadý vlek – používá se na velkých tocích s malými plavebními rychlostmi, čluny by měli být vlečené vedle sebe s určitými rozestupy nebo těsně k sobě připojené
- skupinový vlek – několik člunů se připojuje vedle sebe za remorkérem, většinou při plavbě po proudu – velký odpor vleku
- boční vlek – čluny jsou přivázány na bocích remorkéru
- kombinovaný vlek – kombinují se sestavy řadové se skupinovými nebo bočními

Vzdálenost mezi remorkérem a vlečnými čluny, jako i mezi samostatnými vlečnými čluny je různá, závisí na parametrech vodní cesty a sestavy, může se pohybovat od 10 do 100 metrů.

Lodní postrk nebo-li **tlačnou remorkáž** vytváří remorkér, nebo motorová loď, která tlačí před sebou jedna více spojených člunů vedle sebe i za sebou. Na těchto člunech nemusí být posádka. Postrková sestava je závislá na parametrech vodní cesty, může mít různé seskupení od 1 člunu až po 16 člunů.

Výhody remorkáže postrkem jsou značné, proto postupně postrk nahrazuje vlek:

- odpor tlačené lodní sestavy, kde remorkér a čluny vytvářejí jeden celek, je menší než při vlečné remorkáži. Potřebný výkon při tlačené sestavy, při stejných rychlostech je v porovnání s vlekem o 20 až 25% nižší.

- ovladatelnost celé tlačené sestavy a tím i bezpečnost plavby je větší. Remorkér účinnými kormidlovým zařízením ovládá celou sestavu v každé situaci.
- cestovní rychlost lodní sestavy je vzhledem k menšímu odporu a výhodnějšímu obtékání člunů větší
- vplutí i vyplutí z plavebních komor, přístavů jako i přistávání v nich je rychlejší a bezpečnější
- počet lodní posádky je minimální, tlačené čluny jsou proti vlečeným člunům bez obslužné posádky
- investiční náklady na stavbu tlačných člunů jsou až o 40% nižší než na vlečné čluny
- vlastní náklady na přepravu jsou o 20 až 25 % nižší než při vlečné remorkáži

4.3.2. Potah člunů

Vlečení člunů ze břehu se používá na úzkých splavných řekách, nebo jako doplňkový pohon při plavbě proti proudu na úsecích s mimořádně velkou rychlostí proudu. Potah člunů může být lidskou nebo zvířecí silou, traktorem, lokomotivou a speciálními zařízeními (lanovka nad plavební dráhou).

4.4. Plavební provoz, plavební poměry a plavební podmínky

Plavba a plavební provoz musí být rychlé, bezpečné a plynulé. Plavební provoz je rozdílný podle druhu plavidel a způsobu remorkáže. V podstatě jde o motorové nákladní a osobní lodě plavící se samostatně, vlečné lodní sestavy, postrkové lodní sestavy a speciální plavidla. Rozdílná je i plavba v různých sestavách plavidel, podle toho zda jde o plavbu po proudu, proti proudu, na průplavu, na jezeře či na přehradě.

Plavební provoz nejvíce ovlivňuje **rychlost plavby**. Podle druhů plavidel se technická rychlost pohybuje plavidla pohybuje od 16 do 18 km/h pro nákladní dopravu a až 60 km/h pro dopravu osobní. Pro plavební provoz je výhodnější udávat **cestovní rychlost** v km za den. Ta nezávisí jen na technické rychlosti plavidel, ale také na druhu a vlastnostech vodní cesty, jako jsou rychlost proudu, délka zdrží, velikost a spád plavebních komor, podmínky v noci, za mlhy a pod. Cestovní rychlost při nákladní dopravě na evropských vodních cestách pohybuje od 40 km až do 240 km za den.

Manévrováním lodí rozumíme vykonávání různých pohybů lodí a lodních sestav z určitých důvodů a s určitými cíli. O lodí, která je v pohybu a nedodrží určenou rychlost a směr plavby, říkáme, že manévruje. Základní charakteristika manévrovací schopnosti motorové lodě je její **průměr obratu**. Je to vzdálenost osy lodě v poloze před otočením od osy lodě po jejím obratu o 180°. U starších říčních lodí je to 3– až 4- násobek jejich délky. Nové typy lodí se mohou obrátit prakticky na místě.

Plavební období je doba plavby v roce. Plavební provoz může být v průběhu roku vlivem určitých plavebních poměrů a podmínek na nějakou dobu přerušen. Přerušování plavby mohou způsobit tyto vlivy:

- **zámraza vodní cesty** na určitý čas v roce
- **extrémní vodní stavy** – nízký a vysoký plavební stav
- **rekonstrukční a udržovací práce na vodní cestě**
- **překážky v provozu** – nánosy po velkých vodách

5. Vnitrozemské přístavy

Lodní přístavy ve své podstatě a svém funkčním začlenění v dopravní soustavě, můžeme porovnat s železniční stanicí, popřípadě s letištěm. V síti vodních cest představují místa (uzly), ve kterých dochází k přímému obchodnímu styku zákazníků a přepravců a kde je možnost přímého napojení na ostatní druhy dopravy překladem zboží.

5.1. Funkce a základní prvky přístavu

Vnitrozemské přístavy mají funkci umožnit rychle, bezpečně a hospodárně nakládání zboží na plavidlo, jeho vykládání, překládání a také přechodné uskladnění. Jsou důležitým dopravním uzlem, a proto musí umožnit rychlé a vhodné napojení vodní cesty na silniční, železniční nebo pásovou dopravu.

Musí být navrženy a řešeny tak aby zabezpečovaly:

- rychlé a bezpečné vplutí a vyplutí lodě do přístavu a z přístavu
- umožnili plynulé a bezpečné manévrování lodi v přístavu, zakotvení lodí a sestavování a rozpojování v lodních sestav
- rychlé a časově nenáročné nakládání a vykládání lodí
- přímé napojení na ostatní druhy dopravy

Kromě těchto základních funkcí musí splňovat i funkci ochrannou (povodně, ledochod, zamrznutí řeky), zásobovací (pitná voda, potraviny, pohonné hmoty), jako i poskytování zdravotních a sociálních služeb posádkám lodí, odstraňování odpadků z plavidel, opravy, revize lodí apod.

Pro zajištění správné funkce má přístav tři části:

- **akvatoriální část**, vodní plochy přístavu
- **přístavní nábreží**, přístavní hrany
- **teritoriální část**, suchozemská část přístavu

Akvatoriální část přístavu je vlastně vodní plocha přístavu, která leží mimo plavební dráhy. Zhrnuje vjezd do přístavu, příjezdový kanál, přístavní rejdy, obratiště a dostatečný prostor pro manévrování lodí. Svojí plochou a délkou přístavních nábreží musí poskytovat dostatečný počet vykládacích a nakládacích ploch pro požadovanou překládní kapacitu přístavu. Akvatoriální část může být situována přímo na břehu splavné řeky nebo průplavu (i překladiště) nebo mimo vodní cesty v tzv. přístavních bazénech.

Vjezd do přístavu, mimo splavné řeky, musí být situován a upravený tak, aby nedocházelo k zanášení vjezdu splaveninami. Z toho důvodu se umísťuje do vnějšího břehu oblouku, přibližně pod úhlem 30° k proudu toku. Nejvhodnější umístění je za vrcholem oblouku. Postačující šířka vjezdu do přístavu je 50 m.

Přístavní rejdy (kotviště) slouží lodím, jež čekají na výkladku nebo na naložení. Je to prostor blízko přístavních bazénů nebo přístavních nábreží. Šířka kotviště musí být dostatečná k manévrování lodi, navrhuje se asi kolem 10-násobku šířky typové lodě.

Přístavní bazén je ohraničený přístavními nábrežními, upravenými k přivazování lodí a umožňuje jejich vyložení a naložení. **Přístavní plocha je část bazénu u přístavního nábreží určená k přivázání jedné lodi (často se přivazují 2 až 3 lodě vedle sebe).** Délka přístavní hrany závisí na počtu potřebných přístavních ploch (200 – 1200 m). Minimální šířka bazénu je 55 m.

Obratiště lodí slouží k tomu, aby se lodě při vplutí a vyplutí, obrátili do správného směru jízdy. Bývá umístěné hned za vjezdem do přístavu a v případě více bazénů i v místech jejich rozvětvení. Jeho vodní plocha má přibližně kruhový tvar. Jeho průměr se doporučuje jako 2,5-násobek délky typové lodi.

Přístavní nábreží (přístavní hrany), odděluje akvatorium přístavu od jeho teritoriální části. Slouží k přivazování a k obsluze plavidel. Přístavní nábreží musí umožnit bezpečné zastavení a uchycení lodí. Podle kolísání hladin se navrhuje řešení přístavní hrany jako:

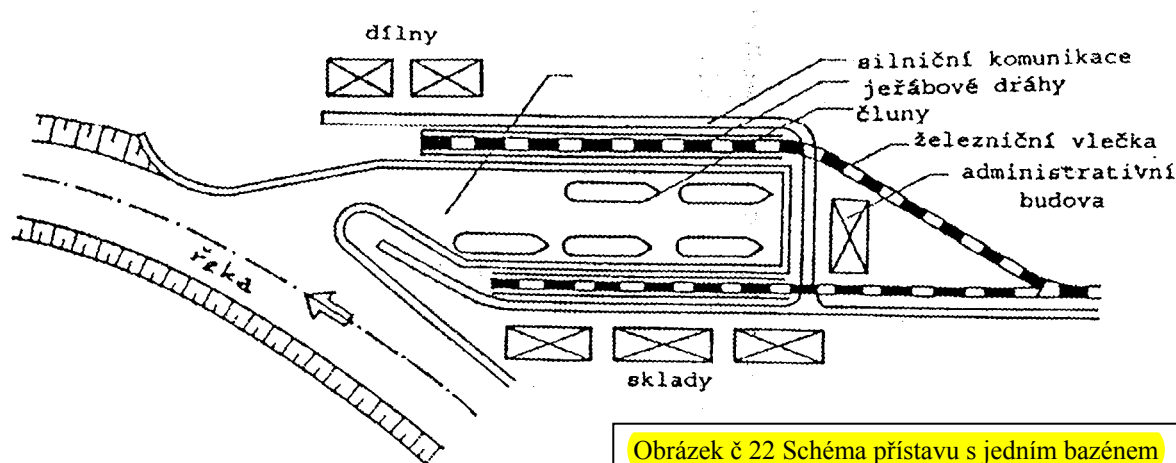
- *šikmé svahy*, navrhují se při menším kolísání hladin, je to nejjednodušší řešení. Je to běžná úprava toku zpevněním svahů, mim jiné je zde nutné počítat také se zatížením překládajícího zařízení, které musí mít, i při nejnižší provozní hladině, dosah na plavidlo. Většinou jde o přístavy a překladiště na otevřeném toku.
- *svislé svahy*, ty se navrhují při větším kolísání hladin a při stísněných územních podmínkách, většinou je to v přístavních bazénech. Tyto konstrukce přístavních nábreží bývají řešeny jako kotvené nábrežní stěny (ocelové štetovnice, piloty, podzemní monolitické nebo montované stěny), budované nábrežní stěny (z prostého betonu, ŽB nebo z předpjatého betonu) a jiné typy technického řešení.

Přístavní nábreží musí mít kromě stabilního stavebního řešení i základní vybavení podmiňující bezpečnost provozu.

- uvazovací zařízení v dostatečném množství, které musí být dobře zakotvené (různé typy „pacholat“, uvazovacích kruhů, háků apod.)
- nárazníkové rámy, nárazníkové trámy (šikmé přístavní nábreží), záchranné kruhy
- schody, žebříky (vedené 0,5 m pod minimální hladinu) a přístupové můstky

Teritoriální část přístavu, je to zbývající plocha přístavu. Obklopuje akvatoriální část přístavu a prostorově musí obsáhnout umístění jeřábů a překládacích zařízení, železnic, silnic, skladišť, skládek provozních budov a všech mechanismů a zařízení potřebných k provozu přístavu. V teritoriu přístavu jsou rovněž umístěny opravárenské dílny, sklady pohonných hmot, bezpečnostní zařízení (policie, hasiči), zdravotní a sociální zařízení a administrativní budovy.

Šířka území u jednostranné přístavní hrany by měla být asi 150 m. Šířka mezi dvěma bazény (tzv. molo) je min 250 m. Řešení silniční a železniční sítě musí být takové, aby vnitřní síť byla vhodně napojená k přístavním hranám, skladům a skladkám jako i na vnější dopravní síť. Vhodné napojení přístavu na venkovní dopravní síť umožňuje rychlou přepravu zboží z přístavu, popř. jeho dovoz do přístavu. Základní schéma uspořádání moderního veřejného přístavu je na obrázku č.22.



Obrázek č 22 Schéma přístavu s jedním bazénem

5. 2. Rozdělení přístavů

Přístavy pro lepší orientaci a okamžité informace dělíme na několik typů a to podle různých kritérií:

1. Podle účelu a funkce

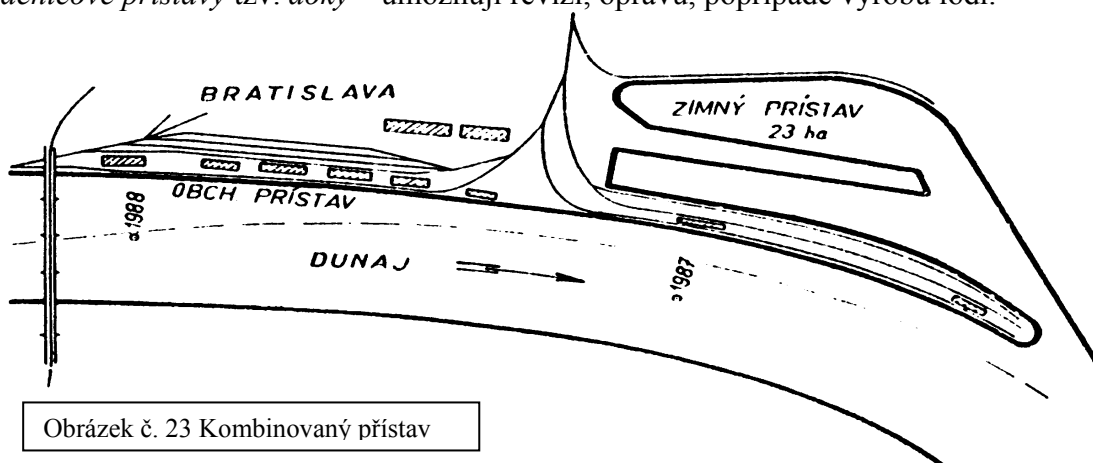
Obchodně veřejné přístavy – zajišťují manipulaci s různým zbožím při jeho nakládání, vykládání či jeho překládce z lodi na loď, či na jiné dopravní prostředky.

Průmyslové podnikové přístavy – určeny pouze pro podnikový provoz.

Osobní přístavy – svou konstrukcí umožňují přistávání osobních lodí a nástup a výstup cestujících, umísťují se přímo v městě, nutno je vybavit čekárnami, pokladnami a sociálním zařízením pro cestující.

Ochranné přístavy (zimní) – slouží k ochraně plavidel při různých kritických přírodních situacích – povodně, zámraza, ledochod, pokud je málo vody ...

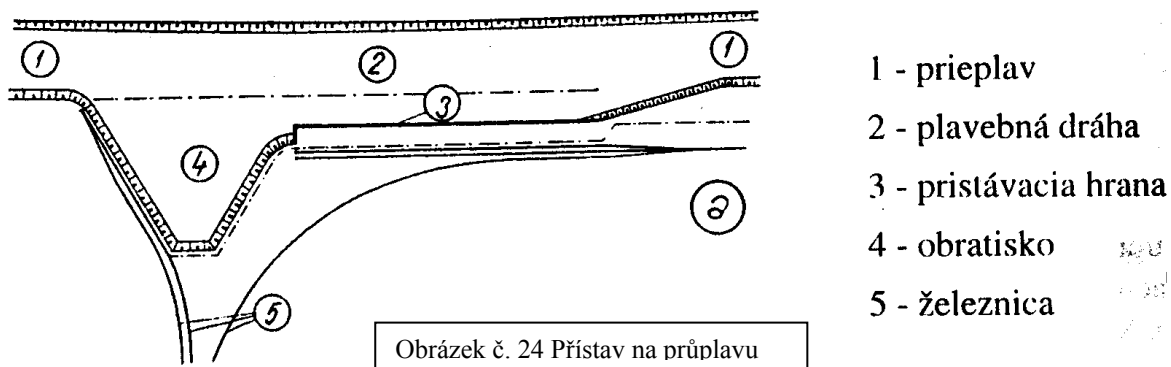
Loděnicové přístavy tzv. *doky* – umožňují revizi, opravu, popřípadě výrobu lodí.



2. Podle dispozičního řešení

Umístěné mimo vodní cesty – v odděleném bazéně, popř. několika bazénech.

Umístěné přímo na vodní cestě – na průplavu, splavné řece, přehradě a jezeru. (obr. č. 2)



3. Podle charakteru lodního parku

Říční přístavy – vnitrozemské přístavy, svými parametry umožňují vjezd pouze vnitrozemských lodí.

Směšené přístavy – říčně-námořní přístavy situované v ústích splavných řek a ve větších tocích umístěny i hluboko ve vnitrozemí (Hamburg, Štětín, Brémy, Rotterdam ...) zde mají přístup říční i námořní lodě.

Námořní přístavy – pouze pro námořní lodě, situované na mořských pobřežích a mořských zátokách.

5. 3. Kapacita přístavu

Překladní kapacita je základní vstupní podmínkou při jeho dimenzování a samotném návrhu velikostí akvatoriální a teritoriální plochy přístavu jako i délek přístavních nábřeží. Kapacita přístavu K_{pr} , počítána v tunách za rok je dána kapacitou překládacích hran. Hrubý odhad kapacity lze provést na základě vztahu :

$$K_{pr} = L_h \cdot k_h$$

L_h ... celková délka překládacích hran

k_h ... kapacita na 1 bm hrany (t/m.rok)

Hodnota k_h je ve skutečnosti velmi proměnlivá. Běžně se pohybuje v hodnotách kolem 500 až 1000 t/m.rok, při některých hromadných substrátech však může být i 10000t/m.rok. Tato hodnota je závislá na technickém vybavení přístavu a jeho překládacím zařízení.

Potřebná hodnota L_h se určuje:

$$L_h = n \cdot L_p$$

L_p ... délka jedné překládací (přístavní) polohy

n ... počet překládacích (přístávacích) poloh

Přičemž:

$$L_p = L_{\text{čl}} + L_r + 2 \cdot L$$

a

$$n = \frac{Q \cdot N}{g \cdot t}$$

Kde: $L_{\text{čl}}$... délka člunu (m)

L_r ... délka přístavního remorkéru (m)

L ... bezpečnostní vzdálenost (5 m)

Q ... střední denní obrat lodě (t)

N ... norma obsluhy překládané lodě (h)

g ... průměrný náklad lodě (t)

t ... počet hodin práce za den (h)

Uvedené vztahy platí jako základní informace a výchozí hodnoty pro návrh parametrů přístavu. Je nutno je zpřesnit podle charakteru přírodních podmínek, druhu přepravovaného zboží a překládací techniky.