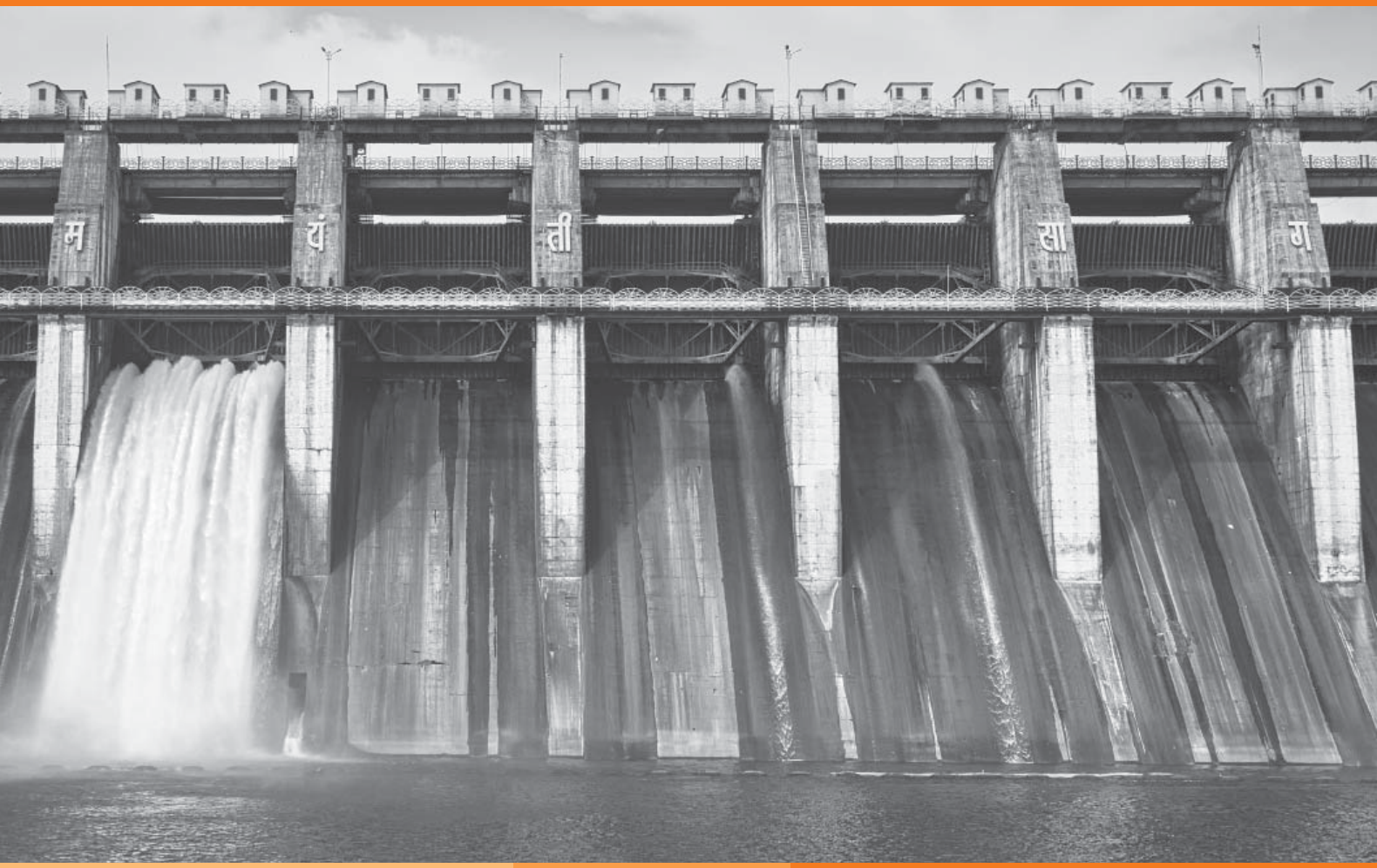
EDÍCIA SKRÍPT



HATE

Peter Šulek

STU SvF
SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

SPEKTRUM STU

HATE

Peter Šulek

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
2023

Dielo je vydané pod medzinárodnou licenciou Creative Commons CC BY 4.0, ktorá povoľuje použitie, zdieľanie, prispôsobovanie, šírenie a reprodukovanie na ľubovoľnom médiu alebo v ľubovoľnom formáte, ak je uvedený pôvodný autor, zdroj a odkaz na Creative Commons licenciu, a ak sú vyznačené prípadné zmeny vykonané v diele. Viac informácií o licencii a použití diela na adrese: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

doc. Ing. Peter Šulek, PhD.

Recenzenti: Ing. Michaela Macková, PhD. (Hydroconsulting, s.r.o.)
Ing. Marek Čomaj, (Výskumný ústav vodného hospodárstva v Bratislave)

Schválila Edičná rada Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

ISBN 978-80-227-5381-4

„Von (Jenda Benda) ví, že šumí les, že vysouší se mez,
že v dáli hárá pes, že kvete bílý bez,
a že mostem cloumá rez, že říčka jde skrz ves,
*ale nevšimne si, že se blíží **jez, jez, jez**.“*

Ivan Mládek

„jez“ [jez] {m} slovenský preklad; **hať**

Poďakovanie:
Autor by sa chcel touto cestou srdečne poďakovať Bc. Natálii Bilčíkovej, študentke Stavebnej fakulty STU v Bratislave, za významnú pomoc pri spracovaní grafických podkladov.

1 Obsah

1 Úvod ... 1
1.1 Ciele ... 1
1.2 Požadované znalosti ... 1
1.3 Kľúčové slová ... 1
2 Historický vývoj hatí ... 2
3 Všeobecne o hatiach ... 4
3.1 Funkcia hatí - rozdiel medzi haťou a priehradou ... 4
3.2 Účel hate ... 6
3.3 Koncepčné a dispozičné riešenie ... 9
3.4 Rozdelenie hatí ... 13
3.5 Účinky (vplyv) hate na vodný tok a okolie ... 18
3.6 Účinky vody na hať ... 23
3.7 Podklady pre návrh hate ... 23
3.7.1 Geodetické podklady ... 23
3.7.2 Geologické a hydrogeologické podklady ... 24
3.7.3 Hydrologické a hydraulické podklady ... 24
4 Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate ... 27
4.1 Návrhový prietok hate a haťového profilu ... 28
4.2 Krivka vzdutia nad haťou ... 29
4.3 Kapacita hate ... 31
4.3.1 Prepadový súčiniteľ – μ_p ... 32
4.3.1.1 Obdĺžnikový tvar ... 32
4.3.1.2 Lichobežníkový tvar ... 32
4.3.1.3 Prúdnicový tvar ... 33
4.3.1.4 Nízky zaoblený Jamborov prah ... 35
4.3.1.5 Prepad vody cez hradiace uzávery ... 36
4.3.2 Súčiniteľom zatopenia – σ_z ... 37
4.4 Návrh počtu a šírky haťových polí ... 39
4.4.1 Návrh tvaru haťových pilierov a brehových krídiel ... 42
4.5 Návrh podhatia ... 49
4.5.1 Spojenie hladín hornej a dolnej zdrže hate; vodný skok ... 50
4.5.2 Návrh vývaru ... 51
4.5.3 Rozrážače a usmerňovače prúdu ... 57
4.5.4 Odrazový mostík ... 59

Obsah

4.5.5 Opevnenie dna za haťou ... 61
5 Konštrukčný návrh stavebných častí hate ... 64
5.1 Spodná stavba hate, vývar ... 64
5.1.1 Horný (návodný) obrys spodnej stavby hate ... 64
5.1.1.1 Koruna priepadu a priepadová plocha ... 66
5.1.1.2 Prechod medzi priepadovou plochou a vývarom ... 69
5.1.1.3 Vývar ... 70
5.1.2 Dolný obrys spodnej stavby hate ... 73
5.1.2.1 Charakteristické typy zakladania hate ... 74
5.1.2.2 Posúdenie dolného obrysu spodnej stavby hate ... 78
5.1.2.3 Zakladanie hate v zložitých podmienkach ... 80
5.1.2.4 Kotvenie konštrukcie hate do podložia ... 82
5.2 Tesniace (protipriesakové) prvky ... 84
5.2.1 Zvislé tesniace prvky ... 84
5.2.2 Vodorovné tesniace prvky ... 90
5.2.3 Opatrenia proti priesaku okolo brehových krídiel ... 92
5.3 Opevnenia dna a brehov za podhatím (vývarom) ... 94
5.4 Opevnenia dna a brehov pred haťou ... 99
5.5 Deliace piliere ... 101
5.6 Brehové piliere a krídla ... 106
5.7 Členenie hate dilatačnými škárami ... 107
6 Posúdenie stavebných častí hate ... 112
6.1 Zaťaženie pôsobiace na hať ... 112
6.1.1 Vlastná tiaž konštrukcie ... 114
6.1.2 Zemný tlak ... 115
6.1.2.1 Aktívny zemný tlak ... 115
6.1.2.2 Pasívny zemný tlak ... 116
6.1.3 Tlak vody ... 118
6.1.4 Tlak presakujúcej vody (vztlak) ... 120
6.1.5 Tlak ľadu ... 124
6.1.6 Pôsobenie vĺn ... 125
6.2 Statické riešenie podľa medzných stavov ... 127
6.2.1 Voľba zaťažovacích stavov ... 128
6.2.2 Stabilita (odolnosť) proti posunutiu a ušmyknutiu ... 128
6.2.3 Stabilita proti nadvihnutiu ... 130
6.2.4 Stabilita proti preklopeniu ... 131

Obsah

6.2.5 Stabilita proti prelomeniu podložia ... 132
7 Pevné hate ... 135
7.1 Drevené hate ... 137
7.2 Kamenné a murované hate ... 138
7.3 Betónové hate ... 138
7.4 Prefabrikované hate ... 140
8 Pohyblivé hradiace uzávery ... 143
8.1 Voľba typu uzáveru ... 144
8.2 Stavidlové uzávery ... 146
8.2.1 Nosný systém stavidiel ... 147
8.2.2 Tabuľové (doskové) stavidlá ... 151
8.2.3 Pojazdné systémy stavidiel ... 153
8.2.4 Ovládanie stavidiel ... 155
8.2.5 Piliere stavidiel ... 155
8.2.6 Zdvižné stavidlá ... 156
8.2.7 Spustné stavidlá ... 157
8.2.8 Stavidlá s nasadenou klapkou ... 161
8.2.9 Dvojité (dvojdielne) stavidlá ... 166
8.3 Klapkové uzávery ... 170
8.3.1 Doskové klapky ... 171
8.3.2 Rúrové klapky ... 173
8.3.3 Duté klapky ... 175
8.3.4 Ovládanie pohybu klapkových uzáverov ... 178
8.3.5 Tesnenie klapkových uzáverov ... 181
8.3.6 Piliere klapkových uzáverov ... 183
8.4 Segmentové uzávery ... 185
8.4.1 Nosný systém segmentov ... 187
8.4.2 Ovládanie segmentov ... 190
8.4.3 Piliere segmentov ... 190
8.4.4 Zdvižné segmenty ... 192
8.4.5 Spustné segmenty ... 195
8.4.6 Segmenty s nasadenou klapkou ... 198
8.4.7 Dvojité (dvojdielne) segmenty ... 204
8.5 Vakové uzávery ... 209
9 Provizórne hradenia ... 214
9.1 Účel, funkcia a typy provizórnych hradení ... 214

Obsah

9.2 Hradidlové provizórne hradenie 214
9.3 Hradlové provizórne hradenie 218
9.4 Celistvé provizórne hradenie 219
10 Postup výstavby hate 221
10.1 Návrhový prietok pre zariadenie staveniska 221
10.2 Výstavba v priepichu 222
10.3 Výstavba v koryte s bočným odvedením vody obtokom 223
10.4 Výstavba v koryte s prevedením vody žľabom alebo potrubím 224
10.5 Etapová výstavba v koryte po častiach 225
11 Použitá literatúra a zdroje 229

1 Úvod

1.1 Ciele

Znalosti o navrhovaní, výstavbe a prevádzke vzdúvacích stavieb (hatí) sú nevyhnutnou zložkou vzdelania vodohospodárskeho inžiniera. Náuka o hatiach je založená na mnohých teoretických, prípravných a praktických disciplínach. Je úzko spojená najmä s náukou o úprave tokov. Dnes nie je možné zodpovedne navrhnúť hať, pokiaľ nepoznáme dynamiku korytotvorných procesov a pokiaľ nie je možné posúdiť účinky navrhovanej hate na koryto toku smerom proti prúdu aj smerom po prúde. Stavba hatí má však svoje špecifické otázky a metódy, ktoré z nej činia samostatnú problematiku.

Učebný text *„Hate“*, ktorý máte pred sebou, je primárne určený pre študentov Stavebnej fakulty STU v Bratislave, odbor Vodné hospodárstvo a vodné stavby na inžinierskom stupni. Je však vhodný aj pre študentov iných odborov – napr. Inžinierskych konštrukcií a dopravných stavieb, príp. Krajinárstvo a krajinné plánovanie.

Cieľom učebného textu je podať zrozumiteľnou a zároveň stručnou a prehľadnou formou základy navrhovania, výstavby a prevádzky hatí.

1.2 Požadované znalosti

Medzi požadované znalosti patria najmä základy fyziky, matematiky, hydrauliky, hydrológie, hydrotechnických stavieb, geológie, geotechniky, zakladania stavieb, mechaniky zemín a navrhovania betónových a oceľových konštrukcií.

1.3 Kľúčové slová

hate, hydrotechnické stavby, hydraulika, pohyblivé uzávery hatí, výstavba hatí, posúdenie stavebných častí hate

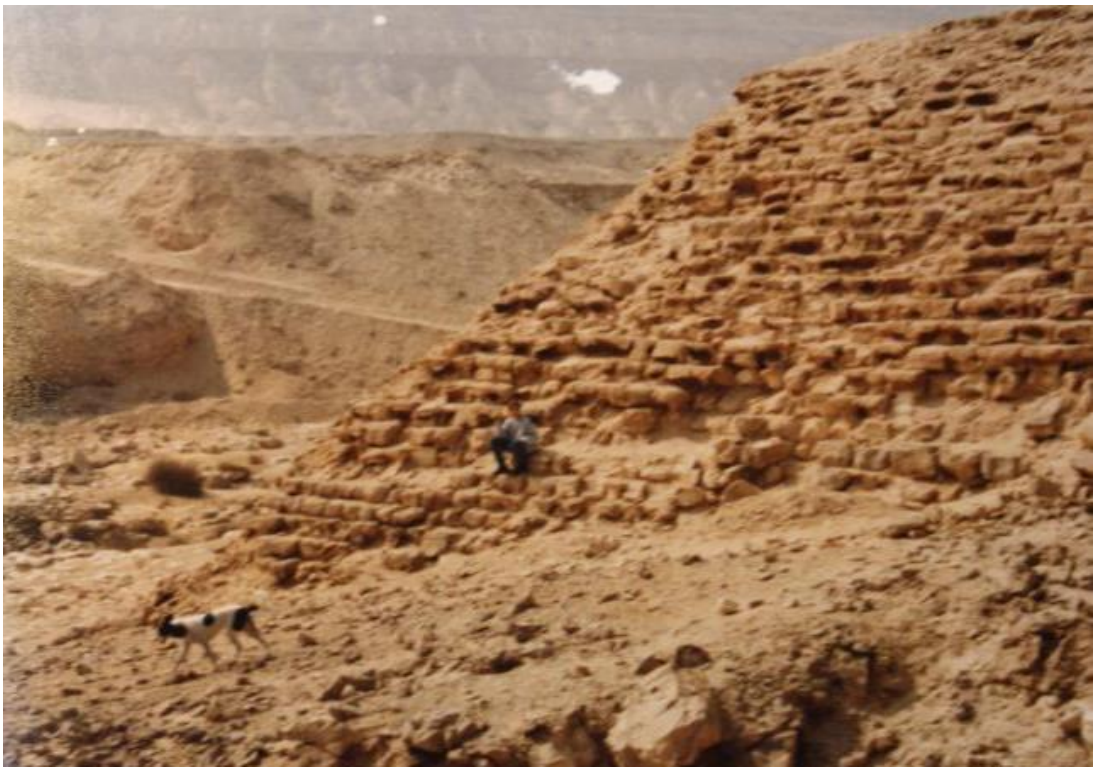
Ambíciou autora nebolo v schémach uvedených v nasledovnom texte zobrazovať detailné konštrukčné riešenia, ale zamerať sa najmä na ilustráciu základných princípov riešení.

2 Historický vývoj hatí

Najstaršia historicky známa vzdúvacia stavba z kameňa s názvom Sadd el-Kafara (Priehrada pohanov) bola postavená okolo r. 2700 až 2600 pre n. l. v Egypte na rieke Níl asi 30 km južne od Káhiry za účelom zavlažovania pozemkov a patrí pravdepodobne medzi najstaršie „veľké“ vzdúvacie stavby na svete.

Najstaršie civilizácie vznikli pri riekach, ktoré využívali na lov rýb, plavbu, odber vody pre zásobovane obyvateľstva a na zavlažovanie pozemkov. Primitívnymi čerpadlami však bolo možné získať iba malé množstvá vody. Pre väčšie odbery bolo nutné zvýšiť hladinu tokov vzdúvacími stavbami.

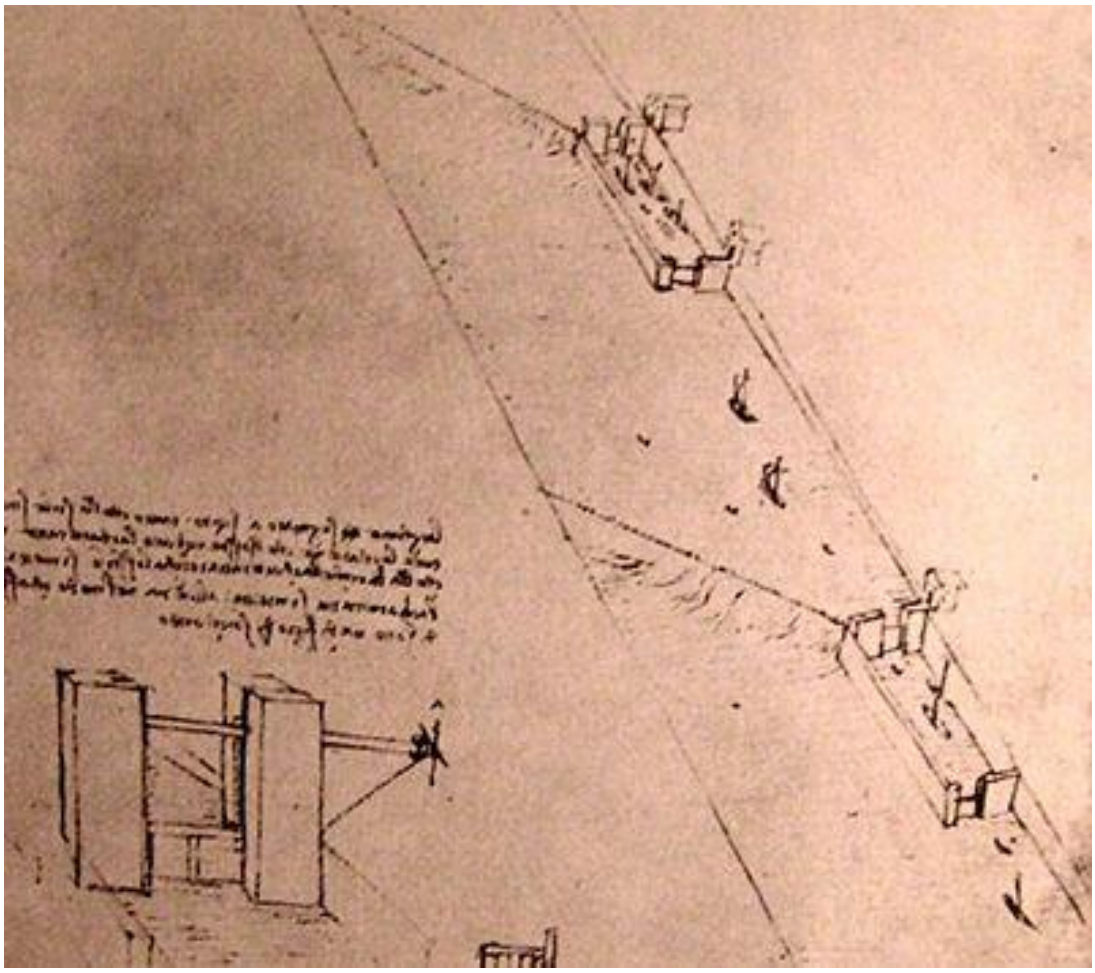
Najstaršia historicky známa vzdúvacia stavba z kameňa s názvom *Sadd el-Kafara* (Priehrada pohanov) bola postavená okolo r. 2700 až 2600 pre n. l. v Egypte na rieke Níl asi 30 km južne od Káhiry na zavlažovanie pozemkov a patrí pravdepodobne medzi najstaršie „veľké“ vzdúvacie stavby na svete (Obr. 2.1). O podobných stavbách vybudovaných v Mezopotámii, Indii a v Číne sú zmienky z dôb okolo r. 1000 pred n. l.



Obr. 2.1 Najstaršia známa vzdúvacia stavba Sadd el-Kafara v Egypte (Zdroj: wikimapia.org)

Využitie vodnej energie pomocou vodného kolesa pre pohon mlynov, píl a iných zariadení bolo známe už v Rímskej ríši a počas stredoveku sa rozšírilo do celej Európy. To malo za následok značný rozvoj hatí, ktoré sa vyvinuli do typických remeselných konštrukcií účelne prispôsobených vodným pomerom rôznych tokov, vtedajšiemu stavu techniky a dostupnému stavebnému materiálu.

Výrazným impulzom pre budovanie hatí bolo kanalizačné splavňovanie tokov a stavba prieplavov, ktoré boli umožnené vynálezom plavebnej komory v 15. storočí (Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Kresba Leonarda Da Vinciho s vyobrazením sústavy pevných hatí a plavebných komôr (Zdroj: leonardo-da-vinci.net)

Zdokonalenie hutníctva a strojárenstva v období po roku 1800 umožnilo kvalitatívnu zmenu výstavby hatí vynálezom rôznych systémov pohyblivých uzáverov haťových polí, ktoré umožňovali ich zahradenie pri malých prietokoch a ich čiastočné alebo úplné vyhradenie pri veľkých vodách tak, aby sa prietočný profil toku uvoľnil.

Zdokonaľovaním konštrukcií vodných turbín a generátorov aj prenosu elektrickej energie na veľké vzdialenosti koncom 19. a začiatkom 20. storočia sa urýchlil vývoj nových typov haťových uzáverov, ktoré sú prakticky vodotesné a ľahko sa ovládajú.

Vzdúvadlá sú stavby vybudované naprieč korytom vodného toku, resp. naprieč celým údolím, ktoré trvalo alebo dočasne zvyšujú (vzdúvajú) hladinu vody v toku a to pre rôzne vodohospodárske účely.

Stanovenie rozdielu medzi haťou a priehradou je pomerne zložité, pretože rozdiely medzi haťou a priehradou nie sú striktne určené konkrétnymi číselnými hodnotami parametrov.

3 Všeobecne o hatiach

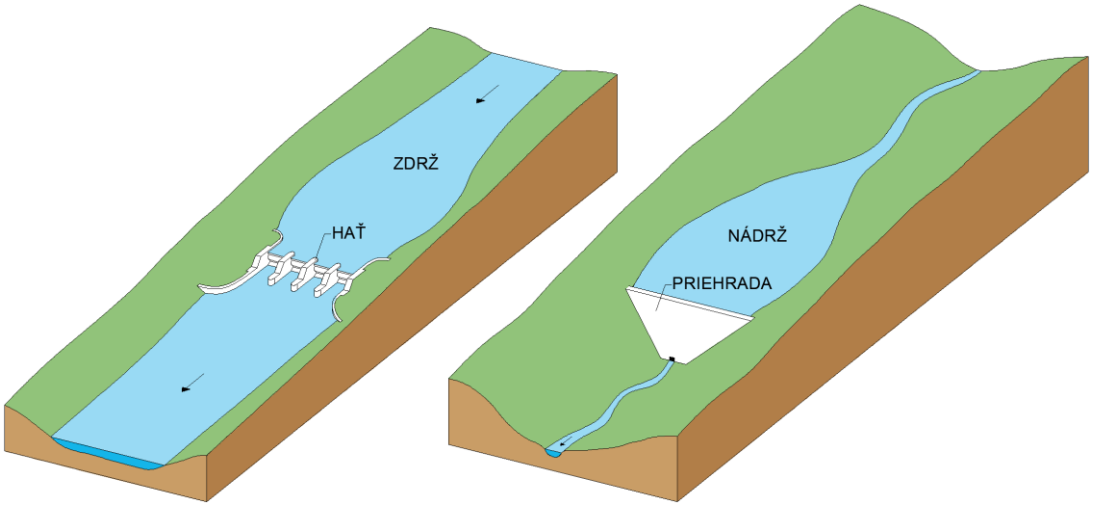
3.1 Funkcia hatí - rozdiel medzi haťou a priehradou

Najrozšírenejšími vodnými stavbami budovanými na vodných tokoch sú vzdúvacie stavby – *vzdúvadlá*. Medzi vzdúvadlá patria *hate* a *priehrady*. Vzdúvadlá sú stavby, vybudované naprieč korytom vodného toku, resp. naprieč celým údolím, ktoré trvalo alebo dočasne zvyšujú **(vzdúvajú)** hladinu vody v toku na požadovanú úroveň (najmä pri nízkych prietokoch) tak, aby bolo možné zabezpečiť rôzne vodohospodárske potreby (napr. odbery pre zásobovanie priemyslu, miest a obcí, závlahy, plavba, hydroenergetika). Vzdúvadlá musia umožňovať nielen bezpečné prepúšťanie veľkých vôd (a v osobitných prípadoch aj ľadov a splavenín), ale spravidla aj ovládať (regulovať) prietoky.

Stanovenie rozdielu medzi haťou a priehradou je pomerne zložité, pretože rozdiely medzi haťou a priehradou nie sú striktne určené konkrétnymi číselnými hodnotami parametrov. Na základe nasledujúcich rozlišovacích kritérií však možno rozdiely identifikovať.

- Hladina hornej vody nad haťou sa obyčajne udržuje na stálej úrovni, alebo za normálnej prevádzky len nepatrne kolíše (rádovo desiatky cm). Rozkyv hladiny v nádržiach priehrad je väčší (rádovo metre až desiatky metrov).
- Objem haťových nádrží tzv. **zdrží** je relatívne malý. Zdrže majú objem na krátkodobé hospodárenie s vodou (max. niekoľko dní), resp. s vodou nehospodária a neovplyvňujú prietokový režim. Priehrady vytvárajú **nádrže** veľkého objemu dostatočného na dlhodobé hospodárenie s vodou (veľkosť objemu vody, ktorá do nádrže vtečie a veľkosť objemu vody, ktorá cez priehradu z nádrže vytečie sa vyrovná v období rádovo týždňa až rokov).
  Poznámka:
  Hospodárenie s vodou znamená akumulovať vodu v nádrži (zdrži) v čase prebytku vody a nadlepšovať (zväčšovať) odtok vody z nádrže (zdrže) v čase potreby zvýšenia prietoku.
- Výška hatí je vo väčšine prípadov max. $12 - 15$ m. Priehrady sú spravidla vyššie.
- Hate sú upravené na prepúšťanie vody po celej svojej dĺžke, pričom dĺžka ich prepadovej hrany je približne rovná šírke koryta toku (Obr. 3.1 a Obr. 3.2). Priehrady majú na prepúšťanie prietoku upravenú len časť svojej konštrukcie (spodné výpusty, priepady) – (Obr. 3.1, Obr. 3.3).
- Povodňové vlny sú v prípade hatí a nimi vytvorených zdrží prepúšťané prakticky bez ovplyvnenia. V prípade priehrad a nimi vytvorených nádrží sú povodňové vlny prostredníctvom objemu nádrže transformované, to znamená, že sú redukované hodnoty maximálnych (kulminačných) prietokov na prietoky, ktoré je možné bezpečne previesť korytom pod priehradou.
- V haťových zdržiach býva rýchlosť prúdenia vody i pri malých prietokoch merateľná a pri povodniach často takmer rovnaká ako na nevzdutých úsekoch toku. Voda preto môže prinášať splaveniny a ľadové kryhy až k hati. Preto na prepustenie splavenín, srieňa a ľadov cez hať a na ochranu odberných zariadení proti nežiadúcemu zaneseniu a upchatiu sú potrebné také stavebné a prevádzkové opatrenia, ktoré pri priehradách nie sú nutné pretože v ich nádržiach sa vzhľadom na malé rýchlosti prúdenia veľká väčšina splavenín

a ľadových krýh prinášaných z horných úsekov tokov uloží už na ich hornom konci. Objektom priehrady sa obyčajne splaveniny ani nikdy neprepúšťajú.



Obr. 3.1 Hať so zdržou a priehrada s nádržou

Obr. 3.2 Hať Bremen na rieke Weser, Nemecko (Zdroj: wikipedia.org)

Obr. 3.3 Priehrada Edamalayar na rieke Pampa, India (Zdroj: keralakaumudi.com)

Z vyššie uvedeného je zrejmé, že rozdiel medzi haťou a priehradou je nie len kvantitatívny, ale predovšetkým kvalitatívny. Z tohto vyplývajú rozdielne konštrukčné riešenia a prevádzkové opatrenia pre oba typy vzdúvacích stavieb, ktoré však majú aj mnoho spoločného, napr. podobné uzávery priepadov, zariadenia na tlmenie prebytočnej energie vody a pod.

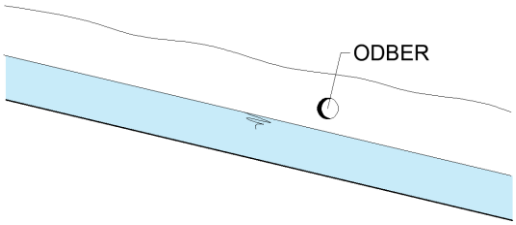
3.2 Účel hate

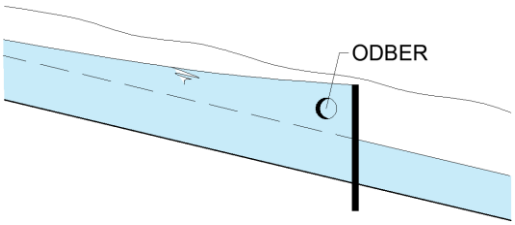
Dôvodom výstavby hatí je nedostatočná hĺbka vody v koryte vodného toku, resp. veľká rozkolísanosť prietokov a tým aj hladín v priebehu roku.

Dôvodom výstavby hate je nedostatočná hĺbka vody v koryte vodného toku, resp. veľká rozkolísanosť prietokov, a tým aj hladín v priebehu roku.

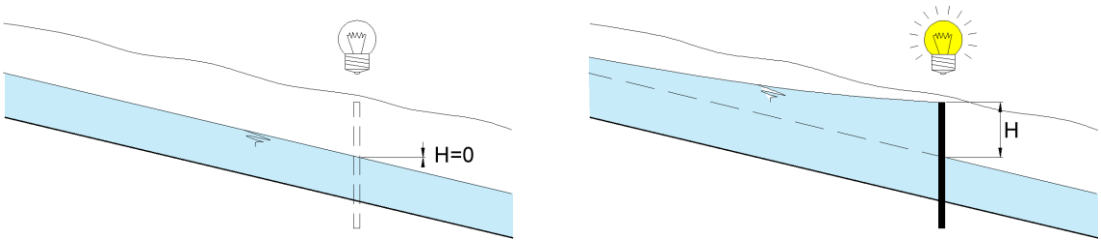
Hladina sa vzdúva haťou:

a) na dosiahnutie dostatočnej výšky a hĺbky v mieste odberu vody z toku,

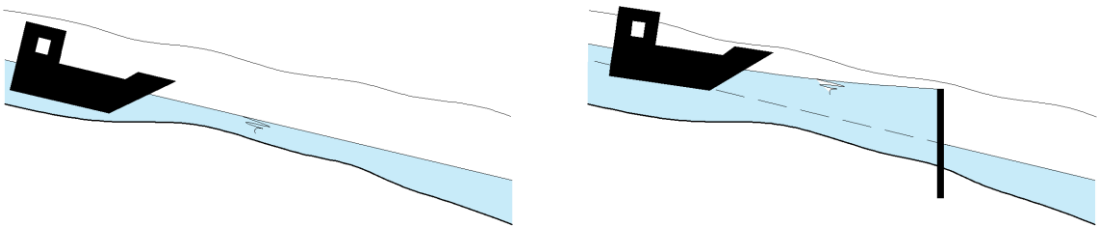




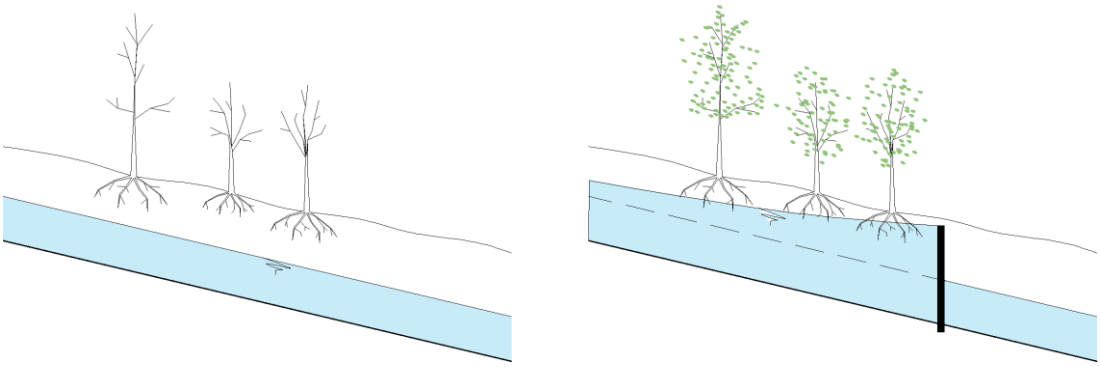
b) na získanie výškového rozdielu nad haťou a pod ňou pre využitie vodnej energie,



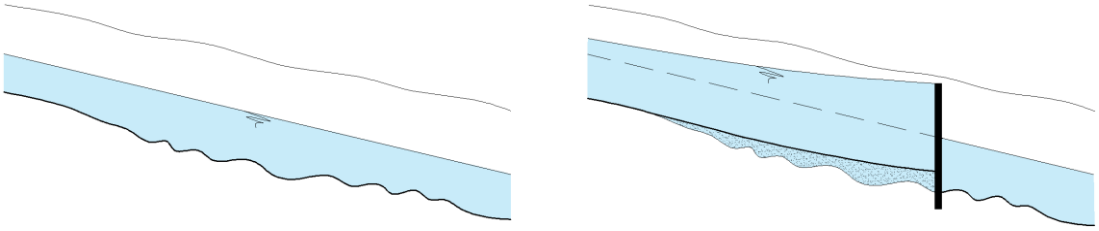
c) na dosiahnutie potrebných plavebných hĺbok pri nízkych prietokoch,



d) na zvýšenie hladiny podzemných vôd v priľahlom území,



e) na zmiernenie rýchlosti prúdenia a na ochranu dna a brehov pred vymieľaním,



f) na zvýšenie estetického účinku vzdutej vodnej hladiny najmä v urbanizovanom území (Obr. 3.4), resp. na vytvorenie podmienok pre oddychové aktivity (Obr. 3.5).

Efektívny návrh hate spravidla vyhovuje súčasne viacerým účelom.

Obr. 3.4 Helmovský jez (hať), Praha, ČR (Zdroj: rieky.sk)

Obr. 3.5 Prírodné kúpalisko Warleigh, Veľká Británia (Zdroj: © IanRedding / Shutterstock.com)

Efektívny návrh hate spravidla vyhovuje súčasne viacerým z vyššie uvedených účelov.

3.3 Koncepčné a dispozičné riešenie

Z hľadiska vodohospodárskeho je pri návrhu hate potrebné stanoviť umiestnenie hate, hladinu stáleho a normálneho vzdutia a spád.

Z vodohospodárskeho hľadiska je pri návrhu hate potrebné stanoviť nasledujúce parametre:

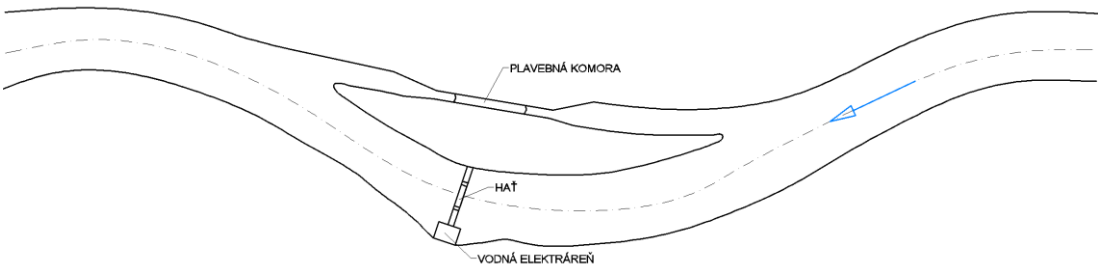
- **umiestnenie hate,**
- **hladinu stáleho vzdutia -** t. j. úroveň hydrostatickej hladiny v haťovej zdrži, pod ktorú nemá za bežnej prevádzky hladina v zdrži klesnúť,
- **hladinu normálneho vzdutia -** t. j. úroveň hydrostatickej hladiny v haťovej zdrži, na ktorej sa za bežnej prevádzky hladina v zdrži trvalo udržiava - väčšinou je zhodná s maximálnou hladinou v zdrži,
- **spád -** t. j. rozdiel hladín pod a nad haťou.

Na umiestnenie hate majú rozhodujúci vplyv najmä parametre prúdenia toku, základové pomery, spôsob výstavby a interakcia s objektami budovanými spolu s haťou.

O umiestnení hate rozhoduje:

- samotný účel hate (Kap. 3.2),
- tvar rýchlostného poľa v toku pri najväčších prietokoch – hať sa umiestňuje naprieč korytom, kolmo na prúdnicu v mieste, kde je rýchlostné pole pri najväčších prietokoch osovo symetrické (symetricky k prúdnici) – (Obr. 3.6). Zabezpečí sa tým rovnaká prietoková kapacita jednotlivých haťových polí, a tým aj symetrické zaťaženie koryta pod haťou,
- charakter základových pomerov (výhodné je skalné podložie alebo únosné nepriepustné zeminy),
- spôsob výstavby – v priepichu, ohrádzovaním atď. (Kap. 10),
- lokalizácia prítoku – výhodné je umiestniť hať nad sútokom, aby sa obmedzilo množstvo usadených splavením v zdrži, resp. aby sa negatívne nepropagovalo spätné vzdutie do prítoku (riziko podmáčania pozemkov),
- ďalšie objekty budované spolu s haťou, resp. objekty, pre ktoré sa hať buduje (napr. vodná elektráreň, plavebná komora a pod.).

Sústredeniu vodohospodárskych objektov na jednom mieste, tvoriacich jeden celok po stránke stavebnej aj prevádzkovej, hovoríme vodné dielo.



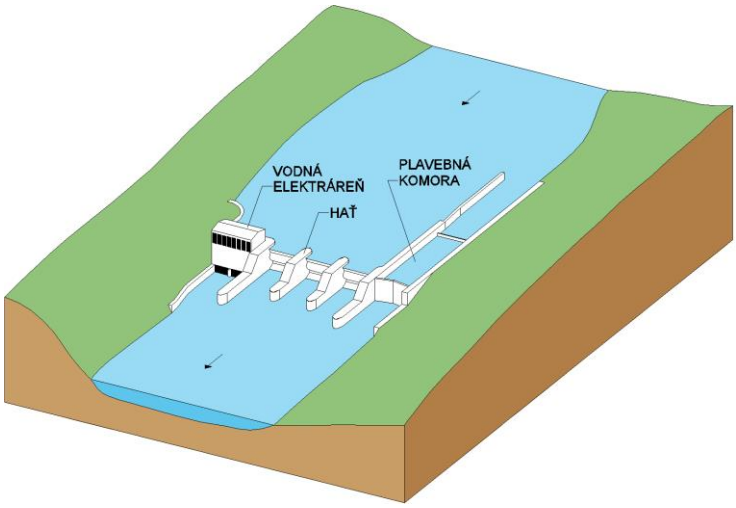
Obr. 3.6 Vodné dielo Hradištko na Labe, ČR

Hate sa budujú aj ako samostatné objekty (napr. pri úpravách tokov a menších riek, kde treba postupným usadzovaním splavenín nad haťou zmierniť, a tým stabilizovať sklon dna – Kap. 3.5 časť *Pohyb splavenín vo vodnom toku*), ale väčšinou sa do riečneho profilu, s cieľom zaistiť rôzne účely, umiestňujú aj ďalšie objekty, napr. vodná elektráreň (VE), plavebná komora, prípadne iné odberné objekty, štrkový priepust, rybovod a pod. Takému sústredeniu vodohospodárskych objektov na jednom mieste, tvoriacich jeden celok po stránke stavebnej aj prevádzkovej, hovoríme **vodné dielo**.

Spôsob a technické riešenie, akým sa dosahujú všetky ciele vodného diela, sa nazýva koncepcia vodného diela, resp. koncepčné riešenie vodného diela.

V prípade, že je hať súčasťou viacúčelového vodného diela, nie je možné ju vzhľadom na to, že jednotlivé objekty vodného diela sa navzájom ovplyvňujú a ako jeden celok pôsobia na pomery prúdenia vody nad aj pod haťou, pohyb ľadu aj splavením, riešiť samostatne, bez uvažovania ostatných účelových objektov. V rámci prípravy výstavby je preto nutné rozhodnúť o spôsoboch a technických riešeniach, ktorými budú všetky ciele vodného diela dosiahnuté. Toto komplexné riešenie sa nazýva koncepcia vodného diela, resp. ***koncepčné riešenie*** vodného diela.

Napr. vodnú elektráreň, ktorá haťou vytvorený spád využíva na výrobu elektrickej energie je možné umiestniť priamo pri hati, tzv. riečna schéma. Riečna schéma je typická sústredením funkčných objektov do jedného profilu na toku v bezprostrednej vzájomnej blízkosti (Obr. 3.7, Obr. 3.8).

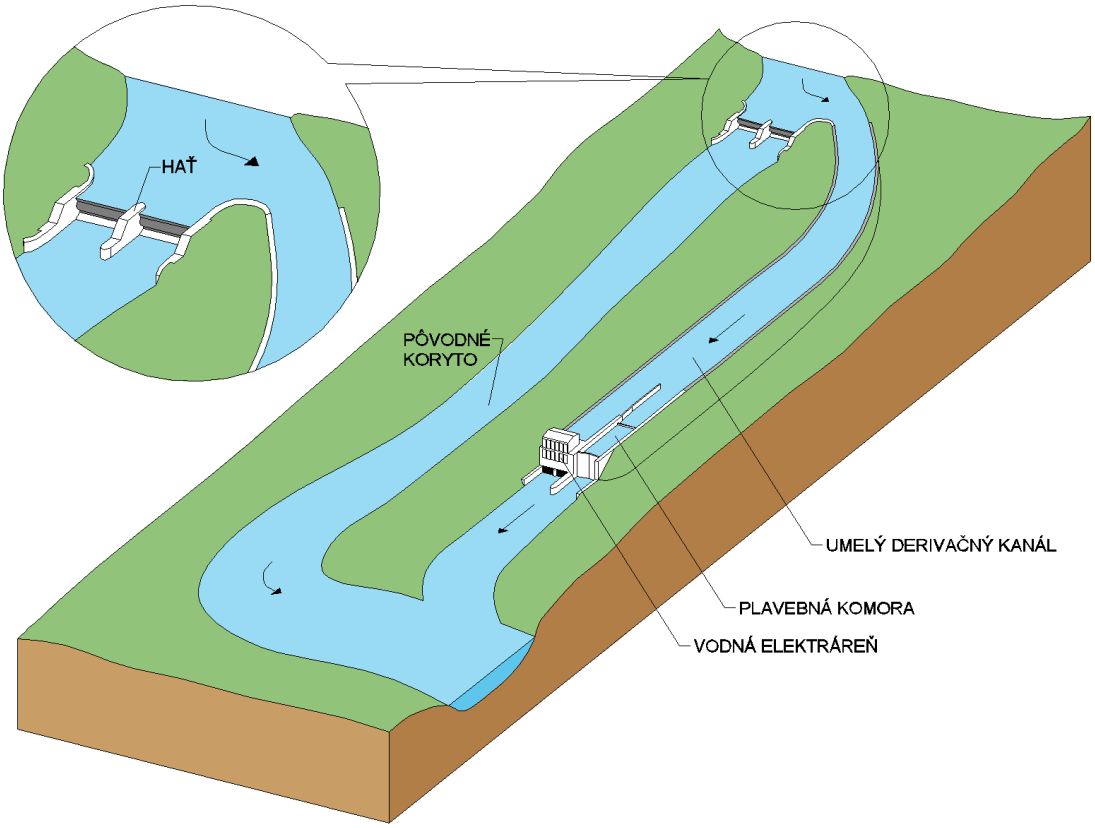


Obr. 3.7 Riečna schéma vodného diela

Obr. 3.8 Vodné dielo Altenwörth na Dunaji, Rakúsko (Zdroj: © C. Stadler/Bwag)

Jednotlivé funkčné objekty vodného diela by mali byť umiestnená tak, aby svojou prevádzkou minimalizovali svoj negatívny vplyv na iné objekty vodného diela.

V prípade, že od hate je odoberaná voda do umelého derivačného kanála, vedeného menším sklonom dna aj hladiny a kratšou dĺžkou ako má pôvodný tok medzi haťou a vodnou elektrárňou, je vodná elektráreň umiestnená na konci tohto kanála hovoríme o tzv. derivačnej schéme (Obr. 3.9).



Obr. 3.9 Derivačná schéma vodného diela

Častým dôsledkom viacúčelovosti vodných diel je nutnosť koordinácie proti sebe postavených požiadaviek na optimálnu prevádzku jednotlivých funkčných objektov zaisťujúcich splnenie jednotlivých účelov.

Napr. plavba vyžaduje minimalizáciu zmien parametrov prúdenia (nemennosť plavebných podmienok), regulačná vodná elektráreň vyžaduje častú zmenu prúdenia v oblasti stupňa spôsobenú nábehom do prevádzky a odstavením z nej. O problematike interakcie plavebnej a energetickej prevádzky bližšie pojednáva publikácia [23].

Pri kombinovaní závlah s energetickým využitím je nutné, aby bola hať schopná bezporuchovej prevádzky aj v zime, nie len vo vegetačnom období.

Z hľadiska optimálneho zladenia jednotlivých funkcií je dôležité ***dispozičné riešenie*** vodných diel. Pod dispozičným riešením rozumieme umiestnenie jednotlivých funkčných objektov vodného diela tak, aby svojou prevádzkou minimalizovali svoj negatívny vplyv na iné objekty.

Na základe znalosti zákonitostí prúdenia vody, pohybu splavenín a plavením v prirodzených tokoch, z výsledkov doterajších výskumov a zo skúseností získaných prevádzkou vybudovaných

Pri návrhu koncepčného a dispozičného riešenia vodného diela sa okrem funkčných požiadaviek musí rešpekovať aj ochrana prírody, rybárstvo, urbanistické a hygienické požiadavky.

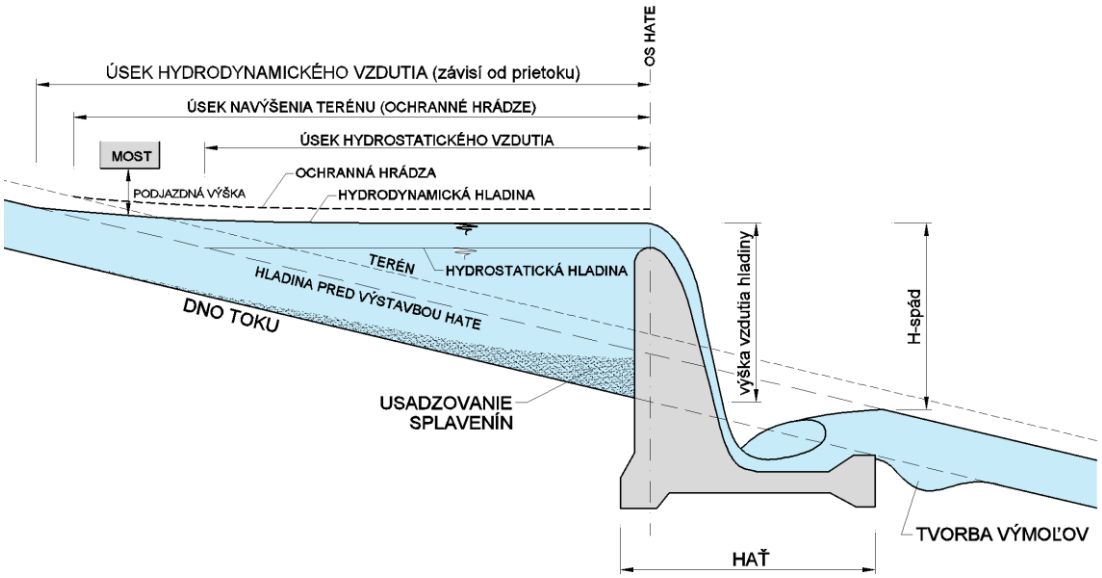
vodných diel je možné odvodiť určité všeobecné zásady, ktoré treba pri návrhu dispozičného riešenia rešpektovať:

- objekty umiestniť tak, aby bol prechod objektov do pôvodného koryta plynulý,
- plynulo meniť aj voľnú šírku toku tak, aby nebola menšia ako je šírka hate ani v priestore zúženia toku napr. plavebnými objektmi,
- hať umiestniť tak, aby trasa hlavnej prúdnice prechádzala stredom hate kolmo na jej pozdĺžnu os,
- vodnú elektráreň je vhodné umiestniť na konkávnej strane oblúka koryta,
- plavebnú komoru je vhodné umiestniť na konvexnej strane oblúka tak, aby bolo prúdenie vody v oblasti vjazdov do nej čo najmenej ovplyvnené prevádzkou vodnej elektrárne,
- zároveň, ak to miestne podmienky umožňujú, je vhodné umiestniť vjazdy do rejd plavebnej komory do konkávnych strán protismerných oblúkov, aby sa znížilo zanášanie vjazdov rejd splaveninami (Obr. 3.6).

Pri dodržaní vyššie uvedených zásad sa je možné vyvarovať zásadných chýb, ktoré by mohli znižovať prevádzkovú spoľahlivosť funkčných objektov, zvyšovať neúmerne prevádzkové náklady, resp. ohrozovať bezpečnosť prevádzky vodného diela. To však nezaručuje, že navrhnuté dispozičné riešenie podľa týchto zásad bude optimálne, pretože každé vodné dielo je unikátne. Optimálne dispozičné riešenie vodného diela závisí od viacerých faktorov a mení sa podľa miestnych podmienok. Je ho možné navrhnúť len na základe podrobného hydrotechnického výskumu, na základe skúmania niekoľkých variant s prihliadnutím ku všetkým aspektom, ktoré môžu výsledný návrh ovplyvniť.

Pri návrhu koncepčného a dispozičného riešenia vodného diela nesmú ostať bokom ani ochrana prírody, rybárstvo, urbanistické a hygienické požiadavky.

Priamym dôsledkom vzdutia vody haťou je zmena polohy hladiny na určitom úseku toku a vytvorenie rozdielu výškových polôh hladín nad a pod haťou. Tento rozdiel hladín je ***spád*** (označenie H). Úsek toku nad haťou (proti smeru prúdenia vody), v ktorom sa prejavuje vplyv vzdutia zmenou polohy hladiny, sa nazýva ***úsek vzdutia*** (Obr. 3.10).



Obr. 3.10 Zmena hladinového a splaveninového režimu po prehradení toku haťou

Vzhľadom na to, že výška vzdutia hladiny nad haťou je rozhodujúci faktor ovplyvňujúci výrazne celé územie, jej stanovenie si vyžaduje prerokovanie so všetkými účastníkmi stavebného konania.

O veľkosti **vzdutia hladiny** (t. j. zvýšenia hladiny po výstavbe oproti pôvodnej hladine pred výstavbou) rozhoduje najmä účel, ktorý má hať plniť. Napr.:

- v prípade, že sa hať buduje na zmiernenie rýchlosti prúdenia a na ochranu dna a brehov pred vymieľaním (Kap. 3.2e), je rozhodujúcim faktorom vytvoriť haťou také vzdutie, pri ktorom rýchlosti nad haťou klesnú pod hodnotu unášacích rýchlostí,
- v prípade, že sa hať buduje na dosiahnutie dostatočnej výšky a hĺbky v mieste odberu vody (Kap. 3.2a), je rozhodujúcim faktorom výšková úroveň odberov. V takomto prípade je pri návrhu výšky vzdutia nutné uvažovať v zmysle Kap. 4.2 aj:
  - s minimálnym „zanorením“ horného obrysu (stropu) odberu pod vzdutú hladinu, tak aby sa zabránilo nasávaniu vzduchu do odberu,
  - s minimálnym prevýšením dolného obrysu (podlahy) odberu nad dnom koryta, tak aby sa zabránilo „strhávaniu“ splavenín do odberu.
- v prípade, že sa hať buduje s cieľom využiť vodnú energiu na výrobu elektrickej energie (Kap. 3.2), je rozhodujúcim faktorom snaha získania čo najväčšieho výškového rozdielu hladín nad a pod haťou.

Pre stanovenie vzdutia hladiny je nutné vypočítať priebehy vzdutých **(hydrodynamických)** hladín, tzv. *kriviek vzdutia* (Kap. 4.2), pre rôzne kombinácie prietokov a spôsobov manipulácie s uzávermi na hati tak, aby sa našiel čo „najnepriaznivejší stav“ s ohľadom na:

- výšku ochranných hrádzí,
- prietokové pomery v mostných profiloch,
- výškovú úroveň výtokov,
- podjazdné výšky mostov na splavnených tokoch,
- ovplyvnenie úrovne podzemnej vody v priľahlom území,
- ovplyvnenie dolnej hladiny vyššie položeného vodného diela, resp. vodných diel.

Výpočtom priebehov vzdutých hydrodynamických hladín sa môže preukázať napr. potreba vybudovania, resp. navýšenia ochranných hrádzí, rekonštrukcia mostov pre nedostatočné podjazdné výšky zvýšením hladiny nad haťou a pod. Až na základe technicko-ekonomického porovnania prínosov a nákladov navrhovaných variantov je možné dospieť k optimálnemu návrhu riešenia vodného diela.

Vzhľadom na to, že **výška vzdutia hladiny** (t. j. zvislá vzdialenosť od vzdutej hladiny po dno koryta v profile hate) je rozhodujúci faktor ovplyvňujúci výrazne celé územie, jej stanovenie býva veľmi náročnou úlohou vyžadujúcou si prerokovania za účasti nielen projektanta a všetkých inštitúcií, ktoré výstavbu hate požadujú, ale aj za účasti inštitúcií alebo jednotlivcov, ktorých záujmy by mohli byť haťou dotknuté.

3.4 Rozdelenie hatí

Hate môžeme deliť na základe rôznych kritérií, a to podľa:

- konštrukčného riešenia na:
  - **pevné,**
  - **pohyblivé.**

Hate môžeme deliť podľa konštrukčného riešenia, prevažujúceho materiálu telesa hate podľa pôdorysného tvaru koruny priepadu a podľa typu pohyblivého uzáveru.

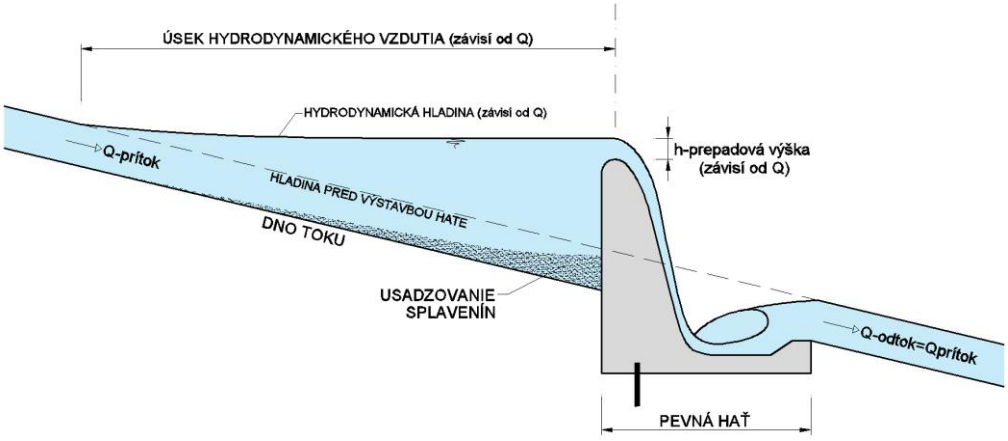
- prevažujúceho materiálu telesa hate na napr.:
  - drevené,
  - kamenné,
  - murované,
  - betónové,
  - železobetónové.
- podľa pôdorysného tvaru koruny priepadu (Kap. 7) na:
  - priame kolmé,
  - priame šikmé,
  - oblúkové,
  - zalomené.
- podľa typu pohyblivého uzáveru (Kap. 8) na napr.:
  - klapkové,
  - stavidlové,
  - segmentové,
  - vakové,
  - valcové.

Pevné hate vodu len vzdúvajú; nie sú schopné regulovať prietok – prítok do priestoru nad haťou sa rovná odtoku z profilu hate do úseku toku pod haťou.

Pevné hate sa využívajú pri úpravách horských tokov, kde je nutné zmenšiť a stabilizovať pozdĺžny sklon alebo na menších riekach s vysokými brehmi, kde nevadí veľká rozkolísanosť hladín.

Základným hľadiskom pre delenie hatí je ich konštrukčné riešenie vo vzťahu možnosti regulovať prietok (t. j. či manipuláciou na hati je možné ovplyvňovať veľkosť prietoku pretekajúceho cez hať), podľa ktorého môžeme rozdeliť hate do dvoch základných skupín, a to na hate *pevné* a *pohyblivé*.

Pevná hať vzdúva vodu v toku pevným nepohyblivým haťovým telesom vytvoreným väčšinou z dreva, kameňa, muriva, betónu alebo železobetónu, ktoré nemá žiadne pohyblivé konštrukcie (Kap. 8). Nie sú schopné regulovať prietok, to znamená, že okamžitý prítok v profile hate sa rovná okamžitému odtoku. Poloha vzdutej hladiny nad haťou a dĺžka hydrodynamického vzdutia je premenlivá a závisí od veľkosti prietoku, ktorý cez hať prepadá. Čím je tento prietok vyšší, tým rastie prepadová výška vody nad korunou priepadu hate, zvyšuje sa poloha hladiny a predlžuje dĺžka vzdutia (Obr. 3.11). Vzhľadom na to, že nie sú schopné regulovať prietok a následne hladinu, je nutné venovať zvýšenú pozornosť ich kapacitnému návrhu a dôsledne nasimulovať pri príprave stavby priebeh hydrodynamického vzdutia, a to najmä pri povodňových prietokoch (Kap. 4.2).



Obr. 3.11 Pevná hať – schéma priečneho rezu

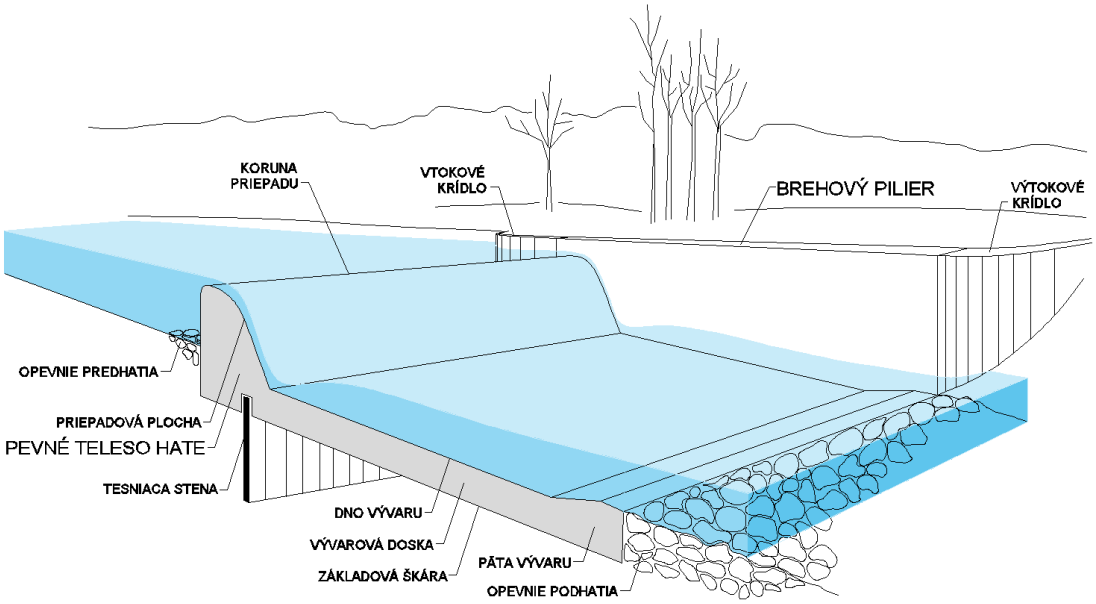
Pohyblivé hate sú schopné regulovať prietok pohyblivými uzávermi hradiacimi prietočné plochy umiestnené v telese hate.

Pohyblivé hate sa s výhodou používajú najmä na tokoch v rovinatom území s nižšími brehmi.

Nevýhodou pevných hatí je to, že konštrukcia pevnej hate nepriaznivo ovplyvňuje predovšetkým pohyb ľadu a splavenín. Splaveniny unášané vodným prúdom, vplyvom zmenšujúcich sa rýchlostí, obvykle zanesú celú zdrž nad haťou až po korunu priepadu, čo má za následok zhoršenie prietokových pomerov v koryte vodného toku.

Pevné hate sa však s výhodou uplatňujú napr. pri využívaní a úpravách horských tokov na stabilizáciu pozdĺžneho sklonu toku nad haťou na menších riekach s vysokými brehmi, kde neprekáža veľká rozkolísanosť hladín.

Výhodou pevných hatí sú aj pomerne nízke stavebné a udržiavacie náklady a hlavne automatická funkcia bez akejkoľvek obsluhy.



Obr. 3.12 Pevná hať – priestorová schéma

Pevná hať má **4** hlavné konštrukčné časti (Obr. 3.12):

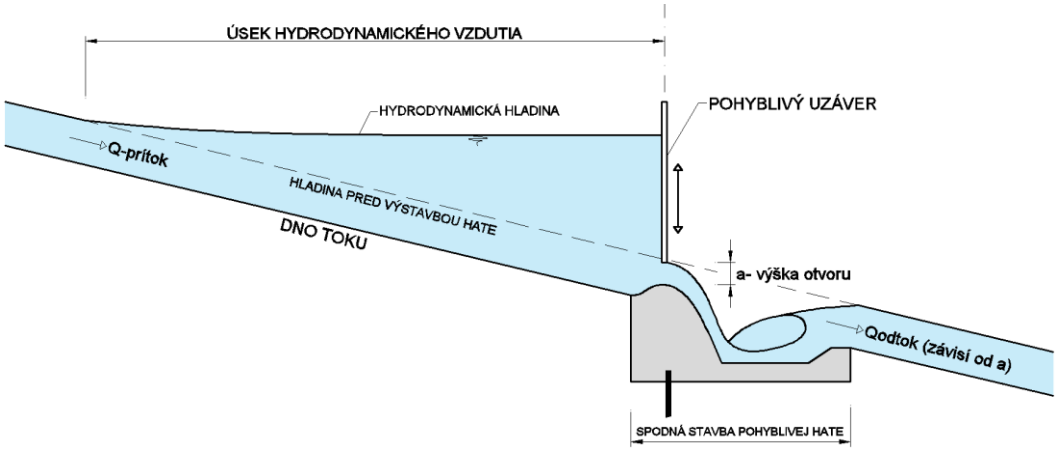
- pevné teleso hate,
- základ s **tesniacimi** (**protipriesakovými prvkami)** zabezpečujúcimi stabilitu haťového telesa a zabraňujúcemi priesaku pod haťou (Kap. 5.2),
- **podhatie**, upravené obyčajne ako **vývar** (opevnená „nádoba“, ktorá tlmí energiu prepadajúcej vody (Kap. 4.5.2 a Kap. 5.1.1.3)), nadväzujúce na **priepadovú plochu,**
- **brehové piliere** s **vtokovými** a **výtokovými krídlami** (Kap. 4.4.1 a Kap. 5.6).

Pohyblivá hať vzdúva vodu v toku **pohyblivými hradiacimi uzávermi** (Kap. 8), ktoré dosadajú alebo sú uložené na pevnú spodnú stavbu hate (Kap. 5.1). S pohyblivými uzávermi je možné podľa potreby manipulovať (t. j. zdvíhať ich, spúšťať, sklápať, resp. otáčať), čím sa reguluje veľkosť plochy, cez ktorú preteká voda, tak aby sa hladina vzdutej vody v zdrži nad haťou udržovala na požadovanej, spravidla na konštantnej úrovni (Obr. 3.13). Pri veľkých prietokoch sa haťové uzávery úplne vyhradia, takže sa celý prietočný profil hate nad pevnou spodnou stavbou uvoľní. Hať sa v takomto prípade správa už ako pevná hať a hladina v zdrži nad haťou sa mení v závislosti od meniaceho sa prietoku. Pohyblivé hate sa s výhodou používajú najmä na tokoch v rovinatom území s nižšími brehmi.

Šírka haťových polí je podmienená požiadavkou plynulého prevedenia vody, ľadov a plávajúcich predmetov cez hať.

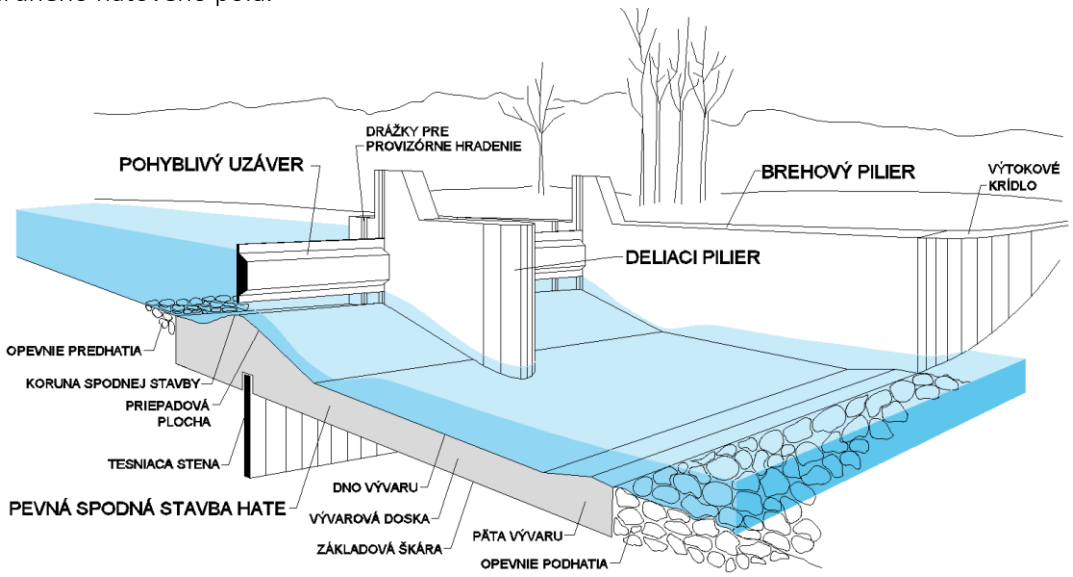
Koruna pevnej spodnej stavby hate býva pri pohyblivých hatiach na úrovni dna koryta alebo v malej výške nad ňou. Pohyblivé hate majú v pôdoryse prepadovú hranu najčastejšie priamu, kolmú na os toku (Obr. 3.2, Obr. 7.1a).

Pohyblivá hať, tak ako v prípade pevnej hate, pozostáva z pevnej spodnej stavby hate, základu, podhatia a brehových pilierov s vtokovými a výtokovými krídlami. Celkovú prietočnú svetlú šírku hate medzi brehovými piliermi je obvykle nutné rozdeliť **deliacimi (návodnými) piliermi** na niekoľko otvorov tzv. **haťových polí** (Obr. 3.14).



Obr. 3.13 Pohyblivá hať; príklad regulácia prietoku výtokom pod pohyblivý uzáver – schéma priečneho rezu

Šírka haťových polí (bližšie v Kap. 4.4) je podmienená požiadavkou plynulého prevedenia vody, ľadov a plávajúcich predmetov cez hať. Aj v prípade, že by konštrukcia pohyblivého uzáveru umožňovala použitie jedného haťového poľa, delí sa prietočný profil hate minimálne na dve polia. Uľahčuje sa tým údržba a opravy uzáverov. Z prevádzkového hľadiska je takéto riešenie výhodné v prípade, že pri náhodnom poškodení alebo poruche uzáveru poprípade aj pri plánovanej rekonštrukcii v jednom haťovom poli, zostáva možnosť manipulácie uzáverom druhého haťového poľa.



Obr. 3.14 Pohyblivá hať (typ uzáveru: zdvižné stavidlo) – priestorová schéma

Na pilieroch sú obyčajne uložené pohybové mechanizmy alebo iné zariadenia na ovládanie uzáverov, poprípade obslužná lávka alebo komunikačný most (Obr. 3.2). V každom haťovom poli sa pred hlavný uzáver do hornej vody umiestňuje aj tzv. ***provizórne hradenie*** (Kap. 9). Používa sa v prípade potreby dočasne zastúpiť hradiacu funkciu hlavného uzáveru, ak má tento poruchu, resp. podlieha revízii či oprave. Ak je hať nízkospádová a hladina dolnej vody siaha nad korunu priepadu, na prípady potreby opravy vývaru „na suchu" sa osadzuje provizórne hradenie aj zo strany dolnej vody.

V niektorých prípadoch je možné riešiť hať ako typovo zmiešanú, tzn. že časť hate je pevná a časť pohyblivá (Obr. 3.17). V takomto prípade vzdutá hladina pri zmenách prietoku nekolíše v takom veľkom rozmedzí, ako pri výlučne pevných hatiach.

Kontrolné otázky

Aká je najstaršia historicky známa vzdúvacia stavba z kameňa?

Čo je základnou funkciou hate?

Aký je rozdiel medzi haťou a priehradou?

Aký je účel výstavby hate?

Ako sú základné princípy pre umiestnenie hate?

Aké sú základné koncepčné schémy riešenia viacúčelových vodných diel?

S ohľadom na aké kritériá sa stanoví hladina vzdutia nad haťou?

Podľa akých kritérií je možné deliť hate?

Aký je rozdiel v princípe fungovania pevnej a pohyblivej hate?

Aké sú hlavné konštrukčné časti pevnej a pohyblivej hate?

Výstavbou hate sa vytvorí vzdutie, ktoré v porovnaní so stavom pred výstavbou zmení hladinový režim vodného toku.

Výstavba hate na vodnom toku ovplyvňuje jeho hydraulický režim a režim podzemných vôd, pohyb splavenín vo vodnom toku, pohyb ľadu, plavebné podmienky a migráciu rýb.

Vplyvom vzdutia dochádza v úseku nad haťou k zmenšovaniu rýchlosti prúdiacej vody, čo má za následok obmedzenie unášacej schopnosti toku a následné usadzovanie transportovaného materiálu v úseku vzdutia.

3.5 Účinky (vplyv) hate na vodný tok a okolie

Výstavbou hate sa **vytvorí vzdutie**, ktoré v porovnaní so stavom pred výstavbou **zmení hladinový režim vodného toku**. Vzdutie spôsobí v úseku vzdutia nad haťou aj **zníženie rýchlostí prúdenia** vody. Pohyblivé hate môžu pohybom uzáverov **meniť aj prietok** cez profil hate.

Zmeny hladinového a prietokového režimu môžu byť z rôznych hľadísk **pozitívna** alebo **negatívna**, resp. môžu byť **neutrálneho** charakteru. Rozsah a intenzita týchto zmien závisia od miestnych podmienok, parametrov hate a jej prevádzky (resp. iných hydrotechnických objektov, ak je vodná stavba viacúčelová).

Výstavbou hate na vodnom toku ovplyvňujeme:

- Hydraulický režim a režim podzemných vôd. Hať vzdúva hladinu v toku vždy za menších prietokov a obvykle aj pri stredných a veľkých vodách. Zvýšená hladina nad úroveň pôvodnej nevzdutej hladiny prechádza do pôvodnej hladiny v toku krivkou vzdutia (Kap. 4.2). V mnohých prípadoch býva hladina nad haťou vzdutá nad úroveň koryta a najmä v nížinných úsekoch musia byť vytvorené umelé brehy nasypaním ochranných hrádzí, prípadne musia byť navýšené už existujúce ochranné hrádze (Obr. 3.10).

Skutočnosti, že zvýšenie hladiny vody v úseku vzdutia je po výstavbe hate trvalé, musia byť prispôsobené aj parametre objektov v úseku dosahu vzdutia, a to napr. výška nábrežných múrov, výškové umiestnenie odberov, mostov. Najmä na splavných tokoch je potrebné dodržať dostatočnú vzdialenosť spodných obrysov konštrukcií nad hladinou.

Hať vzdúva vodu aj do vyústenia prítokov, resp. kanalizácií v úseku proti prúdu. V prípade, že to nie je prípustné, je nutné tieto prítoky preložiť a zaústiť pod hať. Zvýšenie hladiny v toku môže mať vplyv aj na stabilitu brehov.

Pretože hladina podzemných vôd vždy súvisí s polohou hladiny v toku, dochádza k zvýšeniu úrovne hladiny podzemných vôd v priľahlom území, čo môže byť užitočné, ale môže to viesť aj napr. k zabahneniu pôdy, čo má nepriaznivý vplyv na poľnohospodársku výrobu, resp. na výstavbu občianskych alebo priemyselných objektov. V takomto prípade musí byť súčasťou investície aj odvodnenie priľahlého územia.

- Pohyb splavenín vo vodnom toku. Vplyvom vzdutia dochádza v úseku nad haťou k zmenšovaniu rýchlosti prúdiacej vody, čo má za následok obmedzenie unášacej schopnosti toku a následné usadzovanie transportovaného materiálu v úseku vzdutia. Rýchlosť prúdenia postupne od konca vzdutia po hať klesá s nárastom plochy priečnych profilov. Preto sa obyčajne na konci vzdutia usadia zrná väčšie a pred profilom vzdúvadla je usadený jemný materiál. Usadzovanie splavenín má potom za následok zvyšovanie hladiny vzdutej vody a posunutie konca krivky vzdutia smerom proti prúdu (Obr. 3.10). Toto je nutné zohľadniť pri návrhu výšky koruny ochranných hrádzí, prípadne spodnej hrany mostov a vedení križujúcich vodný tok.

V niektorých prípadoch môže byť zanášanie intenzívne a objem zdrže sa zmenší natoľko, že nemôže plniť svoje projektované funkcie pri hospodárení s vodou (Obr. 3.15). V takomto prípade je nutné sedimenty zo zdrže odstrániť prepláchnutím zdrže cez haťové polia, resp. cez štrkové priepusty pri súčasnom znížení vzdutej hladiny. Takýto spôsob však nemusí byť v mnohých prípadoch účinný a často dochádza iba k vypláchnutiu splavenín, ktoré sú usadené v bezprostrednej blízkosti hate. Účinným spôsobom odstránenia splavenín je ich bagrovanie.

Pod haťou schopnosť vody erodovať koryto narastie. Voda nemíňa energiu na transport splavenín a plavenín, ktoré ostali v zdrži.

Pri zmenšenej rýchlosti v zdrži voda zamŕza skôr ako v úsekoch nevzdutých.

Využitie materiálu nánosov na ďalšie účely (stavebný materiál, poľnohospodárske účely) však býva často skomplikované chemickými a biologickými prímesami, ktoré sa do vodných tokov dostanú ako znečistenie. V týchto prípadoch náklady spojené s odstránením nánosov výrazne rastú, pretože musia byť skladované ako nebezpečný odpad, resp. pred ďalším použitím musia z nich byť znečisťujúce látky odstránené. Pod haťou schopnosť vody erodovať koryto narastie. Voda nemíňa energiu na transport splavenín a plavenín, ktoré ostali v zdrži. Táto voda býva pre zvýšenú schopnosť erodovať nazývaná tzv. *hladnou vodou.*

Obr. 3.15 Nánosy sedimentov v zdrži VD Krpeľany (Zdroj: slovenskyrybar.sk/)

• Pohyb ľadu. Pri zmenšenej rýchlosti v zdrži voda zamŕza skôr ako v úsekoch nevzdutých a tiež ľadová celina tu dosahuje väčšiu hrúbku, bez toho, aby hladinu toku príliš vzdúvala. Výrazne zvýšiť vzdutie však môže ľadová kaša alebo triešť prinášaná z horného, ešte nezamrznutého úseku toku, prípadne z prítoku, ktorá na konci zdrže podpláva pod ľadovú celinu a zatarasí väčšiu časť prietočného profilu, Počas jarného odmäku sa ľad v zdrži v dôsledku menších prietočných rýchlostí obvykle dáva do pohybu neskôr ako na nevzdutých úsekoch. Ľadové kryhy prichádzajúce z horných voľných úsekov toku narážajú na ešte zamrznutú celinu na hornom konci zdrže, ktorá bráni ich ďalšiemu pohybu, v dôsledku čoho tu môžu vznikať nebezpečné *ľadové zápchy* sprevádzané vylievaním vody z brehov koryta, resp. prelievaním hrádzí aj pri nižších ako povodňových prietokoch. Plynulému prechodu ľadov často bráni tiež samotný haťový profil v prípade, že je príliš zúžený oproti voľnej trati toku alebo je rozdelený väčším počtom deliacich pilierov s malými svetlými šírkami jednotlivých haťových polí.

Niekedy je možné uľahčiť priechod ľadov haťou znížením hladiny v zdrži manipuláciou na hati (zvýšením prietoku). Tým sa ľadová celina podopretá na okraji o brehy rozpraská na menšie kryhy. Nevýhodou tejto manipulácie je možnosť poškodenia brehového opevnenia nad haťou. Preto sa niekedy ľadová celina v zdrži rozrušuje rozrezávaním a na splavnených riekach rozlámaním ľadoborcom (Obr. 3.16).

Vzhľadom na to, že hať predstavuje pre migrujúce druhy rýb a iné živočíchy bariéru, je potrebné pre nich vytvoriť podmienky pre protiprúdne i poprúdne prekonanie spádu pomocou rybích priechodov.

Obr. 3.16 Ľad rozrušený ľadoborcom prepúšťaný cez hať v Čunove (Zdroj: VVB, a.s.)

• Plavebné podmienky. Výstavbou hate naprieč tokom vzniká na splavnom toku prekážka a preto je potrebné vedľa hate vybudovať aj plavebnú komoru, ktorá umožní plavidlám prekonať vzniknutý výškový rozdiel hladín (Obr. 3.17).

Obr. 3.17 Vodné dielo Selice na rieke Váh (Zdroj: trnovecnadvahom.sk)

• Migrácia rýb a iných živočíchov. Vzhľadom na to, že hať predstavuje pre migrujúce druhy rýb a iné živočíchy bariéru, je potrebné pre nich vytvoriť podmienky pre protiprúdne i poprúdne prekonanie spádu. Tieto podmienky zabezpečujú tzv. **rybovody,** resp. rybie priechody. Sú to objekty umiestnené na alebo vedľa hate tak, aby pomáhali prirodzenej migrácii ichtyofauny.

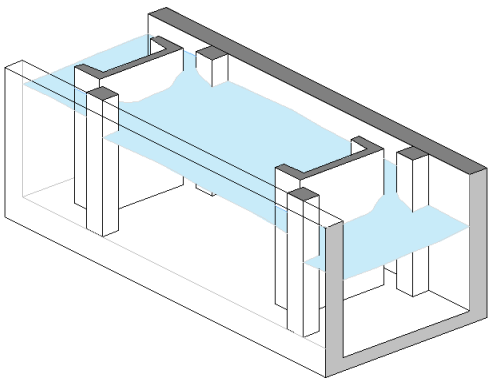
Výber najvhodnejšieho typu rybieho priechodu závisí od zloženia ichtyofauny toku, charakteru toku, ako aj od technických možností.

Pojem rybovody zahŕňa všetky konštrukcie umožňujúce zdolať vodným živočíchom značný výškový rozdiel hladín prehradením toku. Svojím stavebným riešením umožňujú rybám migrovať okolo prekážky plávaním alebo preskakovaním série relatívne nízkych stupňov až na opačnú stranu bariéry.

Výber najvhodnejšieho typu rybovodu závisí od zloženia ichtyofauny toku (druhového spektra rýb – iné požiadavky musia spĺňať pre napr. pstruhovité ryby a iné pre kaprovité), charakteru toku, ako aj od technických možností. Keďže rôzne druhy rýb nepreferujú v toku rovnaké stanovištia, je ideálne vytvoriť v rybovode variabilné podmienky, čo umožňujú najmä prírode blízke typy rybovodov. Medzi takéto typy rybovodov patrí napr. *obtoková bystrina* (***biokoridor***). Svojím riešením umožňuje migráciu celej vodnej fauny a súčasne vytvára životný priestor pre reofilné druhy. Väčšinou sa rieši ako obchvat vodného diela (Obr. 3.18).

Obr. 3.18 Obtoková bystrina (biokoridor) MVE Bulhary na rieke Dyje, ČR ((Zdroj: renoenergie.cz)

Vo výnimočných prípadoch, napr. v prípade veľkých pohyblivých hatí alebo priehrad s neriešiteľným umiestnením prírode blízkeho rybovodu, je možné navrhnúť aj technický typ rybovodu. V zmysle [31] je z technických rybovodov v našich podmienka vhodný jedine štrbinový rybovod (Obr. 3.19 a Obr. 3.20).



Obr. 3.19 Príklady riešenia technických rybovodov – štrbinový

Na zmenu teplotného režimu, chemických a biologických vlastností vody má vplyv najmä pokles rýchlosti prúdenia vody v zdrži nad haťou.

K zhoršeniu kvality vody v zdrži dochádza najmä na znečistených vodných tokoch. Na tokoch s čistou vodou nedochádza v zdržiach ku kritickému zhoršeniu kvality vody.

Obr. 3.20 Pohyblivá hať Windischgarsten s vnútrokorytovým štrbinovým rybovodom, Rakúsko (Zdroj: wild-metal.com)

• Teplotný režim, chemické a biologické vlastnosti vody. Na zmenu teplotného režimu, chemických a biologických vlastností vody má vplyv najmä pokles rýchlosti prúdenia vody v zdrži nad haťou.

V teplejších obdobiach dochádza najmä v plytkých zdržiach k zohriatiu vody, dôsledkom čoho sa môžu urýchliť biologické, resp. chemické zmeny látok obsiahnutých vo vode, napr. *pokles obsahu kyslíka.* To môže mať za následok až zhoršenie podmienok života vodných živočíchov. Zmene kvality vody v zdrži treba venovať pozornosť najmä v prípade, že zo zdrže sa voda infiltruje do podložia a ovplyvňuje kvalitu podzemnej vody – zdroja pitnej vody. Kyslíkový režim sa spravidla následne zlepšuje prevzdušnením pri prepade cez haťové polia.

Pozitívnou stránkou poklesu unášacích rýchlostí prúdenia vody v zdržiach je usadzovanie biologicky závadných látok zachytených na splaveninách a plaveninách, ktoré je možné potom z toku ľahšie odstrániť.

Dôležité je upozorniť, že k zhoršeniu kvality vody v zdrži dochádza najmä na znečistených vodných tokoch. Na tokoch s čistou vodou nedochádza v zdržiach ku kritickému zhoršeniu kvality vody.

3.6 Účinky vody na hať

Účinky vody na hať sa prejavujú najmä vnikaním vody do podložia a do samotnej stavebnej konštrukcie hate a dynamickým účinkom prepadajúcej vody na dno v koryte pod haťou.

Vyššie boli uvedené vplyvy výstavby hate na vodný tok a jeho okolie. Naopak ďalej, sú uvedené účinky samotnej vody na hať.

- *Vnikanie tlakovej vody do podložia.* Vplyvom rozdielu hladín pred a pod haťou vniká voda priepustnou zeminou pod základ hate a svojím hydrodynamickým účinkom spôsobuje v základovej škáre vztlak, ktorý môže zhoršiť stabilitu hate (Kap. 6.1.4). Zároveň môže dochádzať vplyvom prúdenia k vyplavovaniu jemných častíc zeminy z podložia hate, čím sa ďalej zvyšuje priepustnosť podložia a rýchlosť prúdenia v podloží, čo môže nakoniec viesť až k prelomeniu podložia a k strate stability hate (Kap. 6.2.5).

- *Vnikanie tlakovej vody do stavebnej konštrukcie.* Nastáva najmä pri nevhodnom prevedení stavebných častí hate (nesprávne spracovaná betónová zmes, prípadne nevhodný druh betónu). Vplyvom pretlaku voda vniká do škár a pri styku s výstužou môže spôsobiť jej koróziu, resp. pri zamrznutí môže spôsobiť vznik trhlín. Pri zväčšujúcich sa trhlinách a dutinách dochádza k väčším priesakom, a môže nastať až vylúhovanie jednotlivých zložiek spojiva betónu. To môže viesť ku zhoršeniu súdržnosti celej stavebnej konštrukcie.

- *Dynamické účinky vody.* Vplyvom energie vody prepadajúcej cez hať sa môže porušiť neopevnené dno v koryte pod haťou do takej miery, že môže nastať porušenie stability hate.

3.7 Podklady pre návrh hate

Pred samotným návrhom hate, resp. vodného diela je nutné sa čo najdôslednejšie oboznámiť s podmienkami výstavby a prevádzky. Pre získanie podkladov pre projektovanie je nutné vyhodnotiť, resp. realizovať *prieskumné* a *výskumné* práce na území a v priestore plánovanej realizácie hate. Rozsah týchto prác je úmerný veľkosti a významu vodnej stavby.

Nevyhnutnými sú najmä podklady:

- **geodetické**,
- **geologické** a **hydrogeologické**,
- **hydrologické** a **hydraulické**.

3.7.1 Geodetické podklady

Geodetické podklady obsahujú:

- prehľadnú mapu územia dotknutého výstavbou a prevádzkou hate s vyznačenými komunikáciami, vrstevnicami, chránenými oblasťami a pod.,
- podrobnú situáciu lokality hate so zameranými výškovými a smerovými bodmi,
- prehľadný pozdĺžny profil toku v úseku dotknutom výstavbou a prevádzkou hate vrátane objektov (mosty, stupne, vedenia, potrubia a pod.) ovplyvňujúcich prietokové pomery,
- priečne rezy údolia s korytom,
- údaje o prípadných iných presných geodetických meraniach (polygóny, nivelácia).

3.7.2 Geologické a hydrogeologické podklady

Geologické a hydrogeologické podklady sú dôležité najmä v súvislosti s posúdením podmienok zakladania hate.

Tieto podklady sú dôležité v súvislosti s posúdením podmienok zakladania hate. *Geologické podklady* dávajú obraz o celkových geologických pomeroch v mieste zakladania hate a v území dotknutom výstavbou a prevádzkou hate. *Hydrogeologické podklady* dávajú obraz o priesaku vody a režime podzemných vôd v údolných sedimentoch alebo v horninách tvoriacich podložie hate. Medzi tieto podklady patria najmä:

- geologická, resp. hydrogeologická mapa (podklady Geofondu),
- prieskumné geologické vrty. Ich počet a hĺbka sú funkciou rôznorodosti geologického prostredia, veľkosti a významu vodnej stavby. Výsledkom laboratórneho vyhodnotenia vrtov sú geologické profily popisujúce parametre jednotlivých typov a vrstiev základových pôd a hornín. Ak nie je únosné skalné podložie v „malej" hĺbke, je vhodné realizovať geologický prieskum do hĺbky cca päťnásobku navrhovaného spádu na hati,
- údaje o seizmicite a využití miestnych materiálov.

3.7.3 Hydrologické a hydraulické podklady

Hydrologické podklady sú nevyhnutné najmä pre stanovenie kapacity hate.

Medzi *hydrologické* podklady patrí:

- priemerný ročný prietok a jeho rozdelenie v čase,
- čiara prekročenia priemerných denných prietokov,
- údaje o opakovaní výskytu veľkých vôd,
- údaje o prameňoch na dotknutom území,
- údaje o zimnom režime toku,
- klimatologické údaje.

Tieto údaje sú nevyhnutné pre stanovenie návrhového prietoku hate (Kap. 4.1) aj pre stanovenie postupu výstavby vrátane prevádzania veľkých vôd (Kap. 10).

Hydraulické podklady, a to najmä priebehy vzdutých hladín, je nutné zohľadniť pri návrhu výšky koruny ochranných hrádzí, prípadne spodnej hrany mostov a vedení križujúcich vodný tok.

Medzi *hydraulické* podklady patria:

- priebehy hladín na úsekoch toku ovplyvnených výstavbou a prevádzkou hate,
- údaje o prúdení vody v oblasti hate a cez hať,
- poloha hladín, smer a rýchlosť prúdenia podzemných vôd,
- splaveninový režim toku a prítokov, trendy ich morfologického vývoja.

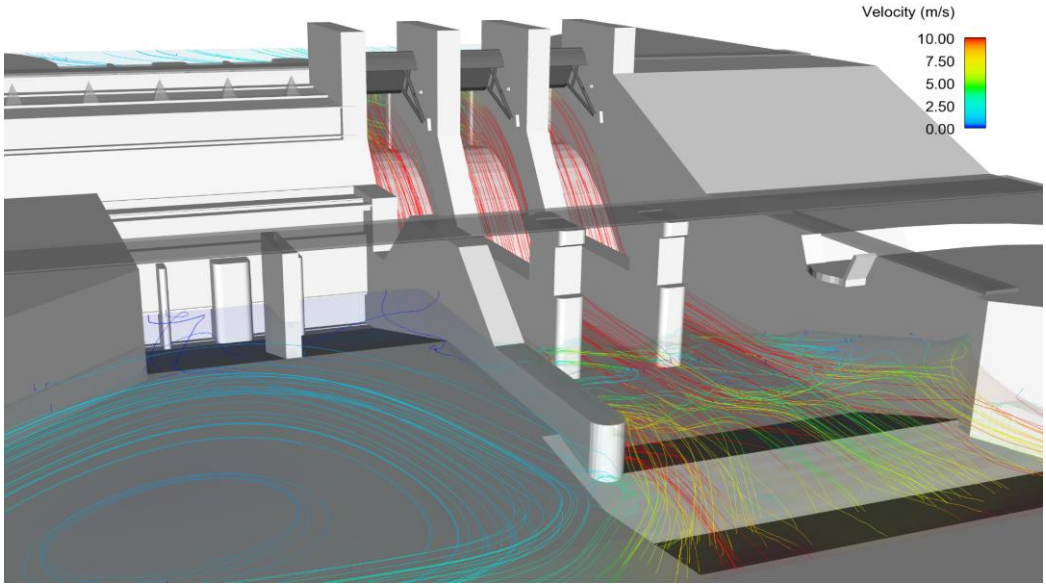
Čo sa týka podkladov súvisiacich s údajmi o priebehu hladín (povrchových, resp. podzemných vôd) na úsekoch (na území) ovplyvnených výstavbou a prevádzkou hate je možné rozlišovať údaje:

- *merané*, t. j. údaje, ktoré je možné získať napr. zameraním priebehu hladín pri povodňových prietokoch priamo v teréne,
- *simulované (modelované)* matematicky, resp. fyzikálne, t. j. údaje, ktoré je možné získať matematickým alebo fyzikálnym modelovaním, z dôvodu, že údaje:
  - *neboli zamerané* priamo v teréne, ale sú nevyhnutné pre návrh hate,
  - *nemohli byť zamerané*, vzhľadom na to, že je ich možné stanoviť priamym meraní až po výstavbe hate.

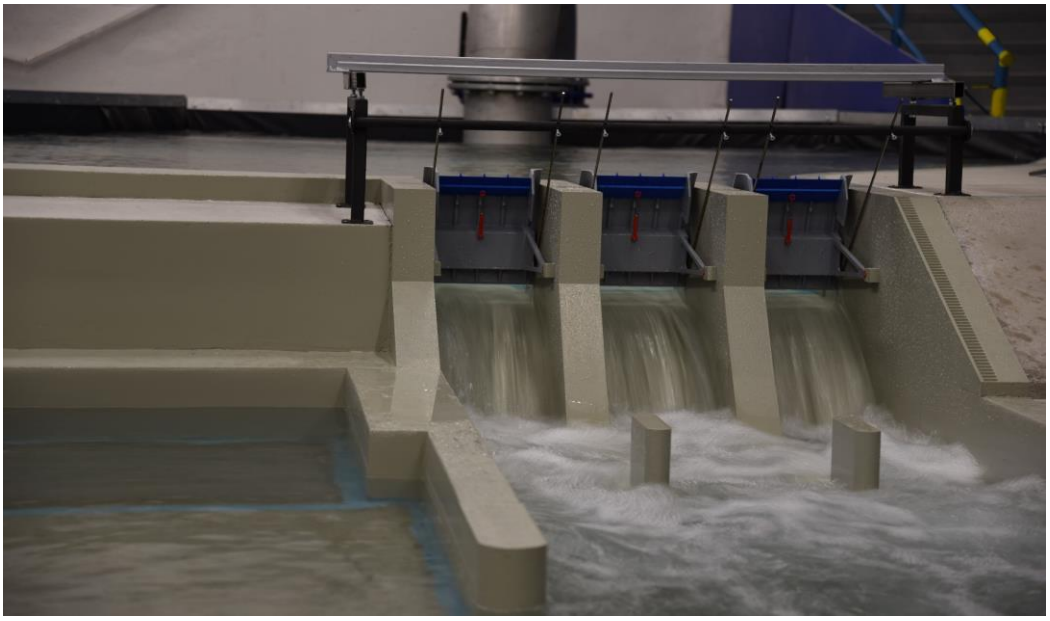
Medzi údaje, ktoré je možné v procese návrhu hate zabezpečiť výlučne matematickou simuláciou (Obr. 3.21) alebo fyzikálnym modelovaním na hydraulických modeloch

Najmä pri významných vodných dielach je nevyhnutnou súčasťou získania čo najspoľahlivejších podkladov modelový výskum realizovaný na fyzikálnom modeli, ktorý umožňuje zabezpečiť také údaje, ktoré nie je možné získať výpočtami. Takto získané údaje sa využívajú najmä pri návrhu dispozičného riešenia objektov (vzájomného umiestnenia objektov) vodného diela.

postavených v hydrotechnických laboratóriách v zmenšenej mierke (Obr. 3.22), sú údaje o prúdení vody v oblasti hate. Obrovskou výhodou získavania údajov, a to najmä matematickým modelovaním, je možnosť simulácie prúdenia vody nie len pre veľké množstvo prevádzkových režimov a pre širokú škálu prietokov, ale aj pre rôzne varianty riešenie samotnej hate. Fyzikálne modelovanie sa využíva najmä na stanovenie parametrov prúdenia vody cez objekt hate. Na rozdiel od matematického modelovania je možné fyzikálnym modelovaním získať aj údaje, ktoré je možné získať výpočtom iba veľmi obtiažne, napr. vplyv nesymetrickej manipulácie s hradiacimi uzávermi, pohyb splavenín a ľadu, vytváranie výmoľov, stanovenie hydrodynamických tlakov na konštrukciu a pod.



Obr. 3.21 Prúdenie vody v oblasti hate VD Žilina získané 3-D matematickou simuláciou pomocou softvérového nástroja 3D- FLOW (Zdroj: SvF STU Bratislava, © Martin Orfánus)



Obr. 3.22 Prúdenie vody v oblasti hate VD Žilina na fyzikálnom modeli v hydrotechnickom laboratóriu Katedry hydrotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave (Zdroj: archív autora)

Okrem vyššie uvedených podkladov je pre návrh hate nutné brať do úvahy aj podklady, ktoré možno nazvať ako **všeobecné**:

- územný plán predmetného územia,
- údaje o chránených územiach, resp. chránených pamiatkach,
- plavebné pomery,
- ichtyologické pomery,
- údaje o odberoch z toku,
- údaje o kvalite, resp. chemickom zložení vody.

Kontrolné otázky

Aké parametre prúdenia vody v toku sa zmenia po výstavbe hate?

Ako sa zmenia prirodzené procesy v toku po výstavbe hate?

Na aké procesy má významný vplyv zmenšenie rýchlosti prúdenia vody v zdrži nad haťou?

Aké sú účinky vody na hať?

Aké sú nevyhnutné podklady pre návrh hate?

Aké sú výhody matematického a fyzikálneho modelovania prúdenia vody pri získavaní podkladov pre návrh hate?

4 Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

Pri kaskáde objektov by kapacita nižšie ležiaceho objektu nemala byť menšia ako kapacita objektu ležiaceho vyššie.

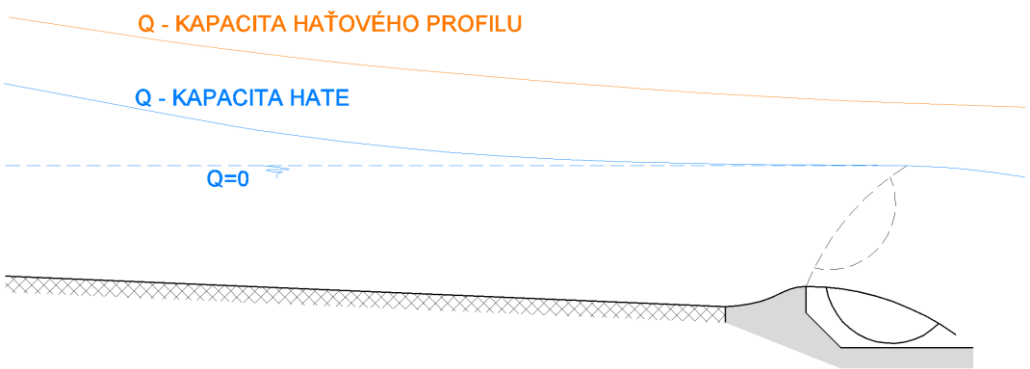
Okrem vyššie uvedených základných geodetických, geologických a hydrologických podkladov musí byť pred dimenzovaním základných stavebných rozmerov a tvarov hate známa celková vodohospodárska koncepcia riešenia definujúca najmä výber vhodnej lokality, určenie výšky vzdutia hladiny a spádu na hati. Nevyhnutnou súčasťou návrhu koncepcie riešenia a dimenzovania hate sú hydrotechnické výpočty pomocou, ktorých je možné určiť najmä:

- návrhový prietok hate a haťového profilu,
- krivku vzdutia nad haťou,
- kapacitu hate,
- šírku hate,
- počet haťových polí,
- tvar haťových pilierov a brehových krídiel,
- parametre podhatia.

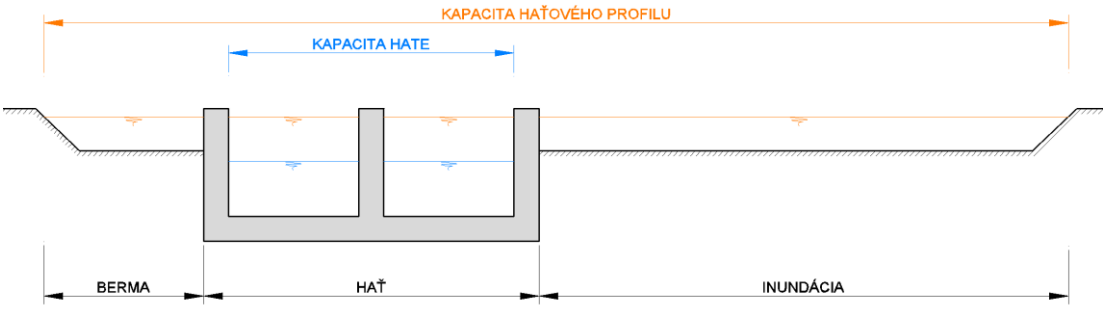
Jednotlivé hydrotechnické výpočty sa navzájom ovplyvňujú a sú závislé na režime toku, v prípade pohyblivých hatí, na navrhnutých haťových uzáveroch a na spôsobe manipulácie s haťou. Pri hydrotechnických výpočtoch je nutné rozlišovať dva pojmy, a to:

- Kapacita hate – najväčší prietok, ktorý môže pretiecť úplne vyhradenou haťou (t. j. pri úplnom otvorení všetkých haťových polí) pri dodržaní úrovne normálneho vzdutia tesne nad haťou. Pri stanovení kapacity hate sa uvažuje, že žiadne haťové pole nie je zahradené provizórnym hradením (Kap. 9) a žiadna časť prietoku nie je prevádzaná cez iné objekty, ako napr. plavebná komora, vodná elektráreň a pod.
- Kapacita haťového profilu – najväčší prietok, ktorý môže pretiecť celým profilom úplne vyhradenej hate (vrátane inundácie, resp. bermy) bez toho, aby spôsobil akúkoľvek škodu, pričom hladina v profile hate, pri ktorej tento pretok preteká, môže byť aj podstatne vyššia ako je úroveň normálneho vzdutia (Obr. 4.1 a Obr. 4.2).

Pri kaskáde objektov by kapacita nižšie ležiaceho objektu nemala byť menšia ako kapacita objektu ležiaceho vyššie.



Obr. 4.1



Obr. 4.2 Kapacita hate a haťového profilu

4.1 Návrhový prietok hate a haťového profilu

Pri dimenzovaní hate rozlišujeme *návrhový prietok hate* a *návrhový prietok haťového profilu*.

Návrhový prietok hate je podľa [35] prietok, ktorý musí byť prevedený cez haťové otvory, resp. haťové polia, pričom konštrukcia hate musí pri navrhnutej manipulácii vyhovovať všetkým bezpečnostným a prevádzkovým požiadavkám.

Návrhový prietok haťového profilu je prietok, z ktorého sa vychádza pri návrhu haťového profilu; delí sa na *návrhový prietok hate* a na *návrhový prietok bermy* a/alebo *inundačného územia*.

Výstavbou hate nesmie prísť v úseku toku ovplyvnenom prevádzkou hate k zhoršenie odtokových pomerov (a to najmä pri povodňových prietokoch).

Výstavbou hate nesmie byť zhoršená existujúca úroveň protipovodňovej ochrany - v prípade potreby je nutné navrhnúť kompenzačné opatrenia.

V prípade, že je hať navrhovaná s novo upravovaným korytom, musí byť návrhový prietok hate (resp. návrhový prietok haťového profilu pri obtekanej hati) minimálne taký, ako je návrhový prietok upraveného koryta pri danej kóte normálneho vzdutia.

Uzávery hate musia byť navrhnuté tak, aby boli pri povodňových prietokoch vyhraditeľné v potrebnom čase aj núdzovo (napr. ručne, prípadne záložným zdrojom elektrickej energie).

V našich podmienkach sa ako maximálny (návrhový) prietok uvažuje vo všeobecnosti Q_{100}.

V našich podmienkach sa ako návrhový prietok uvažuje vo všeobecnosti Q_{100}.

V prípade, že by porucha hate viedla k ohrozeniu obyvateľstva, resp. k ďalekosiahlym škodám je nutné preveriť aj prevedenie povodňových prietokov (resp. povodňových prietokových vĺn), ktoré sú väčšie ako návrhový prietok hate. Podľa [33] veľkosť tzv. *kontrolnej povodňovej vlny* závisí od kategorizácie vodnej stavby (I. až IV. kategória) podľa [34] a od faktora možného ohrozenia ľudských životov pri jej potenciálnej havárii.

Predpokladaný počet haťových polí, resp. objektov súvisiacich s haťou (napr. priepusty, vodné turbíny, plavebné komory), ktoré zostanú pri prevádzaní návrhového prietoku, resp. kontrolnej povodňovej vlny uzavreté, sa stanoví na základe odporúčaní podľa [36].

V súvislosti s návrhovým prietokom hate je nutné stanoviť nie len výšku hladiny pri danom prietoku v profile hate, ale aj pozdĺž celej zdrže nad haťou – t. j. vypočítať tzv. **krivku vzdutia**.

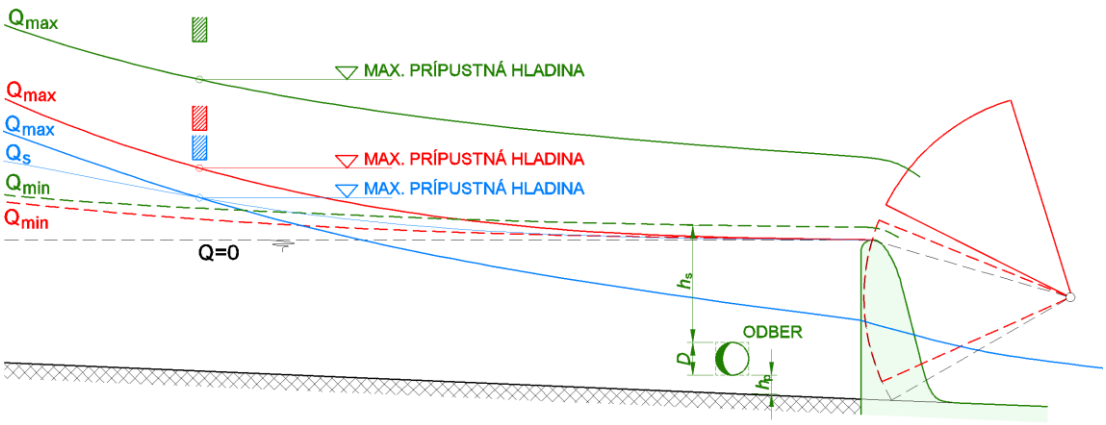
4.2 Krivka vzdutia nad haťou

Výpočet priebehu hladiny po celej dĺžke zdrže je neodmysliteľnou súčasťou stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou.

Pri výpočte *krivky vzdutia* sa vychádza zo základnej rovnice nerovnomerného ustáleného prúdenia. Vstupnou okrajovou podmienkou je kóta hladiny pri zvolenom prietoku v profile hate a postupne sa určuje poloha hladiny vo zvolených vzdialenostiach smerom proti prúdu. Spôsob výpočtu je popísaný napr. v [20]. Na výpočet priebehu hladiny sú vhodné metódy pre ustálené nerovnomerné prúdenie v systéme otvorených neprizmatických korýt všeobecného tvaru piečneho profilu napr. *metóda po úsekoch*.

Výpočet priebehu hladiny po celej dĺžke zdrže je neodmysliteľnou súčasťou stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou. Pri jej návrhu je snaha, aby zmena hladiny oproti pôvodnému stavu, najmä pri veľkých vodách, bola čo najmenšia. Priebeh hladiny (krivky vzdutia) sa preto preveruje nie len pre návrhový prietok, ale aj pre väčšie povodňové prietoky. Na základe znalosti polohy hladiny v jednotlivých častiach zdrže sa určuje výška hrádzí, umiestnenie odberov, výška premostení a je možné z nej odvodiť aj vplyv na úroveň hladiny podzemných vôd v priľahlom území.

Príklady možností stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou vo vzťahu k existujúcemu premosteniu sú znázornené na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou vo vzťahu k existujúcemu premosteniu

V prípade, že vzdúvame hladinu pevnou haťou, je nutné hať navrhnúť tak, aby pri maximálnom prietoku nebola znížená voľná výška pod mostom pod prípustné hodnoty (zelený variant). V prípade, že vzdúvame hladinu pohyblivou haťou, je možné pomocou manipulácie s uzávermi udržovať konštantnú (maximálnu prevádzkovú) hladinu nad haťou v celom rozsahu prietokov (červený variant). V prípade, že dolný obrys mostovky je umiestnený ešte nižšie ako v prípade červeného variantu (a náklady na zvýšenie mostovky by bolo neprimerane vysoké), je možné pohyblivú hať navrhnúť tak, aby bola konštantná hladina nad haťou udržovaná iba do určitého stredného prietoku Q_S. Návrhový prietok Q_{max} je potom prevádzaný úplne vyhradenou haťou už pri hladine nižšej ako je maximálna prevádzková hladina (modrý variant). Takéto riešenie nielenže zníži polohu hladiny v zdrži pri prechode veľkých vôd, ale zvýši aj účinnosť preplachovania zdrže, resp. aj prepúšťanie ľadov (Kap. 3.5).

Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

Z ekonomického hľadiska je výhodnejšie voliť hať širšiu ako vyššiu.

Zväčšovanie prietočnej plochy hate je možné dosiahnuť nie len zvyšovaním hradiacej výšky, ale aj zväčšovaním šírky hate. Vzhľadom na to, že náklady na výstavbu hate sú úmerné šírke hate lineárne, zatiaľ čo výške hate sú úmerné druhou mocninou, je z ekonomického hľadiska výhodnejšie voliť hať širšiu ako vyššiu.

Okrem stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou je, napr. v prípade, že sa hať buduje na dosiahnutie dostatočnej výšky a hĺbky v mieste odberu vody (Kap. 3.2a), dôležité aj stanovenie minimálnej prevádzkovej hladiny nad haťou. V prípade pevnej hate (zelený variant) je možné pomocou výpočtu krivky vzdutia pre minimálny prietok $Q_{\min}$ stanoviť výšku hladiny v mieste odberu (Obr. 4.3). Pri riešení praktických úloh sa často uvažuje s $Q_{\min} = 0$ (t. j. s hydrostatickou hladinou). Aby sa zabránilo nasávaniu vzduchu do odberu, je nutné stanoviť minimálne „zanorenie" odberu pod hladinu. Hodnota minimálneho zanorenia odberu má potom významný vplyv aj na stanovenie kóty koruny priepadu pevnej hate (Obr. 3.12). Analogicky je možné postupovať aj v prípade pohyblivej hate. Minimálne „zanorenie" horného obrysu (stropu) odberu h_s (v zmysle Obr. 4.3) je možné vypočítať na základe rôznych empirických vzťahov.

Podľa Gordona:

$$h_s = c\, v \sqrt{D} \ \text{[m]} \qquad (4.1)$$

Podľa Knaussa:

$$h_s = 2.3D \frac{v}{\sqrt{gD}} \ \text{[m]} \quad \text{pre} \quad \frac{v}{\sqrt{gD}} \geq 0.5 \qquad (4.2)$$

Podľa Rohana:

$$h_s = 1.474 v^{0.48} D^{0.76} - 0.5D \ \text{[m]} \qquad (4.3)$$

kde:

c – je koeficient pre:
- pre nesymetrický tvar vtoku do odberu = 0.74245,
- pre symetrický tvar vtoku do odberu = 0.5434.

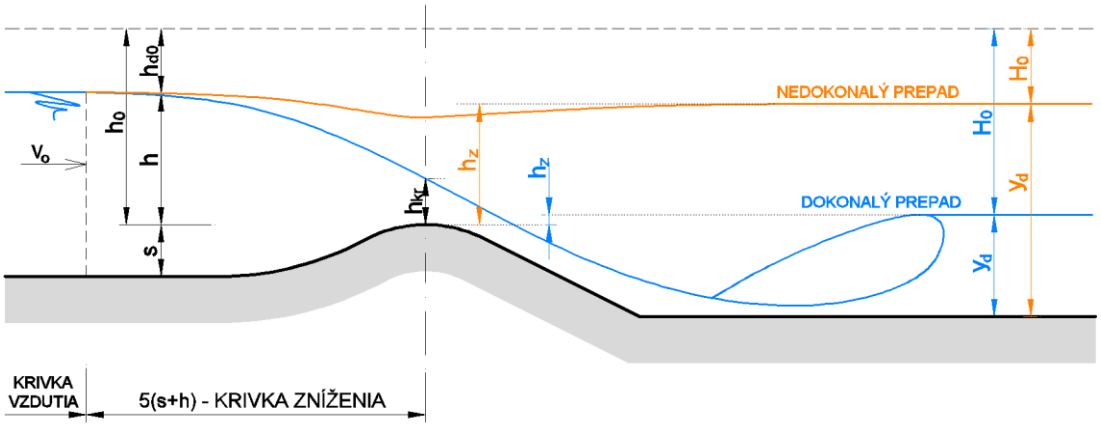
v – priemerná rýchlosť vody v odbernom objekte [m.s^{-1}],
D – priemer odberu [m],
g – gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}].

Aby sa zabránilo „strhávaniu" splavenín do odberu malo by byť minimálne prevýšenie dolného obrysu (podlahy) odberu nad dnom koryta h_p (v zmysle Obr. 4.3) $0{,}5$ až $0{,}75$ m.

4.3 Kapacita hate

Súčasťou hydrotechnických výpočtov je stanovenie kapacity hate, t. j. maximálneho prietoku, ktorý môže byť bezpečne prevedený (pri väčšinou maximálnej prevádzkovej hladine) cez hať. Voda môže cez hať pretekať **dokonalým** alebo **nedokonalým prepadom**.

Pri dokonalom prepade prechádza riečne prúdenie v hornej zdrži v oblasti priepadu do bystrinného prúdenia tak, že hĺbka vody nad korunou priepadu sa rovná kritickej hĺbke h_{kr} (Obr. 4.4). Pod hať prechádza prúdenie obyčajne opäť do riečneho prúdenia vodným skokom. Pri dokonalom prepade hladina dolnej vody neovplyvňuje kapacitu hate. Toto nastáva v prípade, keď je hladina dolnej vody pod úrovňou kritickej hĺbky h_{kr} nad korunou priepadu $h_z < h_{kr}$. V prípade, že pri zvyšovaní prietoku stúpa hladina dolnej vody rýchlejšie ako hladina hornej vody, zmenšuje sa rozdiel hladín (spád) a po prekročení kritickej hĺbky dolnou vodou nastáva prepad nedokonalý $h_z > h_{kr}$, pri ktorom už hladina dolnej vody má vplyv na kapacitu hate.



Obr. 4.4 Schéma pre výpočet kapacity hate

Prietok haťou pri *dokonalom prepade* a obdĺžnikovom tvare haťových polí je možné vypočítať zo vzťahu:

$$Q = \frac{2}{3}\mu_p b_e \sqrt{2g} h_0^{\frac{3}{2}} \ [\mathrm{m^3.s^{-1}}] \qquad (4.4)$$

kde:

μ_p – je prepadový súčiniteľ [-],
b_e – efektívna šírka priepadu [m],
g – gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}],
h_0 – zvislá vzdialenosť medzi čiarou energie a korunou priepadu [m]; $h_0 = h + h_{d0}$
h – výška prepadového lúča (prepadová výška) [m],
$h_{d0} = \alpha v_0 / 2g$ – rýchlostná výška [m],
v_0 – prítoková rýchlosť [m.s^{-1}].

Prietok haťou pri *nedokonalom prepade* a obdĺžnikovom tvare haťových polí je možné vypočítať zo vzťahu:

$$Q = \frac{2}{3}\mu_p \sigma_z b_e \sqrt{2g} h_0^{\frac{3}{2}} \ [\mathrm{m^3.s^{-1}}] \qquad (4.5)$$

kde:

σ_z – súčiniteľ zatopenia charakterizujúci vplyv hladiny dolnej vody na prietok haťou [-].

4.3.1 Prepadový súčiniteľ – μ_p

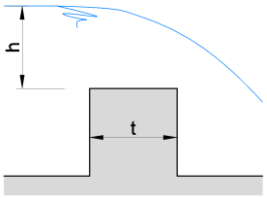
Prepadový súčiniteľ μ_p vyjadruje vplyv tvaru haťového telesa na kapacitu hate. Jeho hodnota závisí od:

- tvaru koruny priepadu,
- výšky koruny priepadu ***s*** nad upraveným dnom pred haťou (pozri Obr. 4.4),
- tvaru priepadovej plochy a jej drsnosti,
- prepadovej výšky h (pozri Obr. 4.4).

Staršie pevné hate majú väčšinou tvar priečneho rezu obdĺžnikový alebo lichobežníkový. Nové hate už majú tvar priepadovej plochy zaoblený, resp. sa navrhujú s prúdnicovou priepadovou plochou. Hodnoty prepadového súčiniteľa sa získavajú experimentálne. Ekonomicky najvýhodnejšie je dosiahnutie čo najvyššej hodnoty μ_p, ktoré umožní čo najúspornejšie riešenie z pohľadu šírky haťových polí. Ďalej sú uvedené hodnoty prepadového súčiniteľa pre rôzne tvary koruny priepadu a priepadovej plochy.

4.3.1.1 Obdĺžnikový tvar

- pre $t \leq 0{,}67h$ (**ostrohranný priepad**) je prepadový súčiniteľ $\mu_p \cong 0{,}63$,
- pre $0{,}67h < t < 2h$ závisí od pomeru h/t.



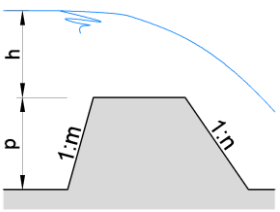
h/t	0,1	0,33	0,5	1,0	1,5	2,0
μ_p	0,45	0,48	0,49	0,55	0,61	0,63

- pre (2 až 3)$h < t <$ (14 až 15)h (**prepad cez širokú korunu**) je možné podľa Knappa [15] vypočítať prepadový súčiniteľ podľa vzťahu:

$$\mu_p = 2{,}7 \frac{\left(\frac{h}{t}\right)^{0{,}544}}{\sqrt{2g}} \qquad (4.6)$$

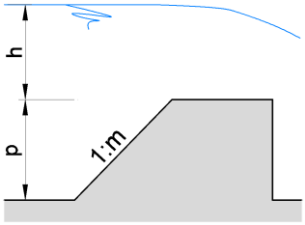
4.3.1.2 Lichobežníkový tvar

- pre $p > 5$ m (**vysoké hate**), $m \leq 0{,}5$, $n \leq 0{,}5$:



h/p	0,5 až 1	1 až 2	> 2
μ_p	0,52	0,57	0,63

- pre $2\ \text{m} < p < 5\ \text{m}$ (**stredné hate**) so sklonenou návodnou stenou:

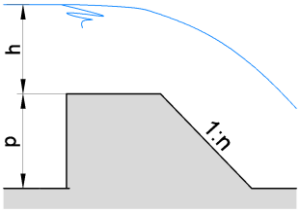


h/p		0,5 až 1	1 až 2	> 2
μ_p	m = 1	0,60	0,63	0,66
	m = 2	0,57	0,61	0,64

- pre $p < 2\ \text{m}$ (**nízke hate**) so sklonenou návodnou stenou:

h/p		0,5 až 1	1 až 2	> 2
μ_p	m = 3	0,52	0,55	0,58
	m = 5	-	0,52	0,55
	m = 10	-	0,52	0,52

- pre $2\ \text{m} < p < 5\ \text{m}$ (**stredné hate**) so sklonenou vzdušnou stenou:



h/p		0,5 až 1	1 až 2	> 2
μ_p	n=1	0,55	0,60	0,63
	n=2	0,57	0,57	0,60

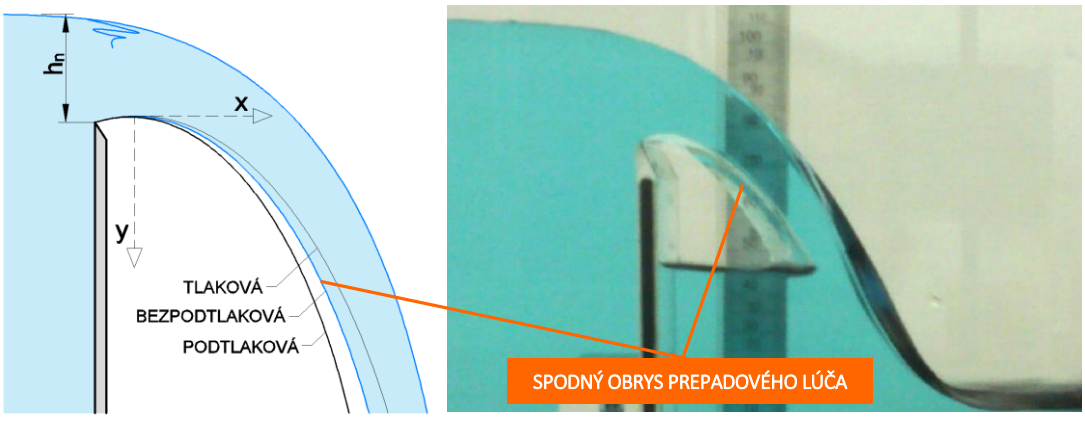
- pre $p < 2\ \text{m}$ (**nízke hate**) so sklonenou vzdušnou stenou:

h/p		0,5 až 1	1 až 2	> 2
μ_p	m = 3	0,57	0,60	0,63
	m = 5	0,54	0,57	0,60
	m = 10	-	0,54	0,57

Obdĺžnikové a lichobežníkové tvary sú síce z hľadiska stavebného jednoduché, ale hydraulicky nevýhodné. Napriek tomu, že pri zaoblení hrán je možné v prípade nízkych a stredných hatí zväčšiť hodnotu prepadového súčiniteľa o 5 %., sú hodnoty prepadového súčiniteľa nízke.

4.3.1.3 Prúdnicový tvar

Prúdnicový tvar priepadovej plochy je odvodený od tvaru spodného obrysu lúča prepadajúceho cez ostrohranný priepad (pozri Obr. 4.5). Tvar lúča závisí od prepadovej výšky h, pričom prúdnicová priepadová plocha sa navrhuje pre prepadovú výšku rovnú maximálnej ($h_n = h_{max}$) zodpovedajúcu návrhovému prietoku, ktorý má byť haťou prevedený (Kap. 4.1).



Obr. 4.5. Prepad vody cez ostrohranný priepad

Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

Bezpodtlaková priepadová plocha sa odporúča pre hate s veľkými prietokmi, pretože prepadový lúč je veľmi stabilný.

V prípade, že priepadová plocha bude mať tvar spodného obrysu lúča prepadajúceho pri prepadovej výške h_n hovoríme o bezpodtlakovej ploche (napr. *Scimeniho plocha*). Pri bezpodtlakovej ploche nevznikajú tlaky ani podtlaky, t. z., že priepadová plocha k prepadajúcemu lúču iba dolieha a lúč na teleso hate teoreticky netlačí ani sa od neho neodliepa. Odporúča sa pre hate s veľkými prietokmi, pretože prepadový lúč je veľmi stabilný. Pri bezpodtlakovej *Scimeniho ploche* dosahuje pri návrhovej prepadovej výške prepadový súčiniteľ hodnotu $\mu_p = 0{,}76$.

Tlaková priepadová plocha sa navrhuje najmä pri pohyblivých uzáveroch.

V prípade, že je prepadová výška h menšia ako h_n, plocha lúč podopiera, a chová sa ako tlaková (napr. *Smetanova plocha*). Pri tlakovej ploche sa prepadový súčiniteľ oproti ploche bezpodtlakovej zníži, čo má za následok **zníženie kapacity hate**. Na strane druhej sa pri tlakových plochách prepadový lúč vyznačuje vysokou stabilitou. Tlaková prúdnicová plocha sa navrhuje najmä pri pohyblivých uzáveroch. Pri tlakovej *Smetanovej ploche* dosahuje pri návrhovej prepadovej výške prepadový súčiniteľ hodnotu $\mu_p = 0{,}74$.

Podtlaková prepadová plocha sa navrhuje najmä na pevných hatiach.

Pri prepadovej výške h väčšej ako h_n, sa prepadajúci lúč od priepadovej plochy odliepa a vplyvom podtlaku je ku ploche prisávaný. Priepadová plocha sa chová ako plocha podtlaková. Vplyvom podtlaku sa prepadový súčiniteľ zvýši a môže, napr. pri eliptickej ploche dosahovať hodnoty $\mu_p = 0{,}84$, čo má za následok **zvýšenie kapacity hate**. Na strane druhej v prípade, že $h/h_n \leq 1{,}65$ sa pri podtlakových plochách prepadový lúč stáva nestabilný, čo môže spôsobovať *chvenie,* resp. *kmitanie* konštrukcie. Podtlaková prúdnicová plocha sa preto navrhuje najmä na pevných hatiach.

Obr. 4.6 Sanácie prúdnicovej priepadovej plochy v roku 2008 na pevnej hati Šindelová, ČR (Zdroj: ČVUT Praha, © Petr Valenta)

Výhodou Jamborovho prahu je to, že samotný prah nemá prakticky žiadny vplyv na kapacitu hate a súčasne umožňuje znížiť hradiacu výšku uzáveru.

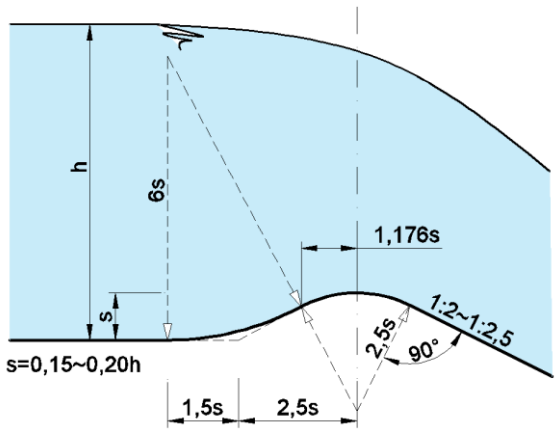
Pri návrhu prúdnicových plôch sa používajú tabuľky súradníc jednotlivých bodov plochy pre prepadovú výšku h = 1 m. V Tab. 4.1 sú uvedené súradnice bodov pre jednotkovú prúdnicovú plochu podľa *Scimeniho* a *Smetanu*, ktorej počiatok leží vo vrchole riadiacej krivky (Obr. 4.5).

Tab. 4.1 Súradnice tvaru prúdnicovej prepadovej plochy pre prepadovú výšku h = 1 m

x	**Scimeni** $y=0{,}5x^{1{,}85}$ BEZPODTLAKOVÁ PLOCHA	**Smetana** $y=0{,}461x^{1{,}85}$ TLAKOVÁ PLOCHA
0,1	0,0071	0,0065
0,2	0,0255	0,0235
0,3	0,0539	0,0497
0,4	0,0918	0,0846
0,5	0,1387	0,1279
0,6	0,1943	0,1792
0,7	0,2585	0,2383
0,8	0,3309	0,3051
0,9	0,4115	0,3794
1,0	0,5000	0,4611

4.3.1.4 Nízky zaoblený Jamborov prah

Na nízkych, najmä pohyblivých hatiach, sa navrhuje horný obrys spodnej stavby hate v tvare Jamborovho prahu (pozri Obr. 4.7). V prípade, že výška prahu $s < 0{,}15h$, vzdutie hladiny spôsobené prahom je zanedbateľné. Výhodou tohto riešenia je to, že samotný prah nemá prakticky žiadny vplyv na kapacitu hate a súčasne umožňuje znížiť hradiacu výšku uzáveru. Prah taktiež netvorí prekážku pri prechode splavenín. Výška prahu s by mala byť volená v závislosti na prepadovej výške h tak, aby pri dokonalom prepade bol pomer $p/h = 0{,}1$ a pri nedokonalom prepade bol pomer p/h v rozmedzí $0{,}15$ až $0{,}25$. Výška Jamborovho prahu s by mala byť v rozmedzí $s = (0{,}15 - 0{,}2)h$.

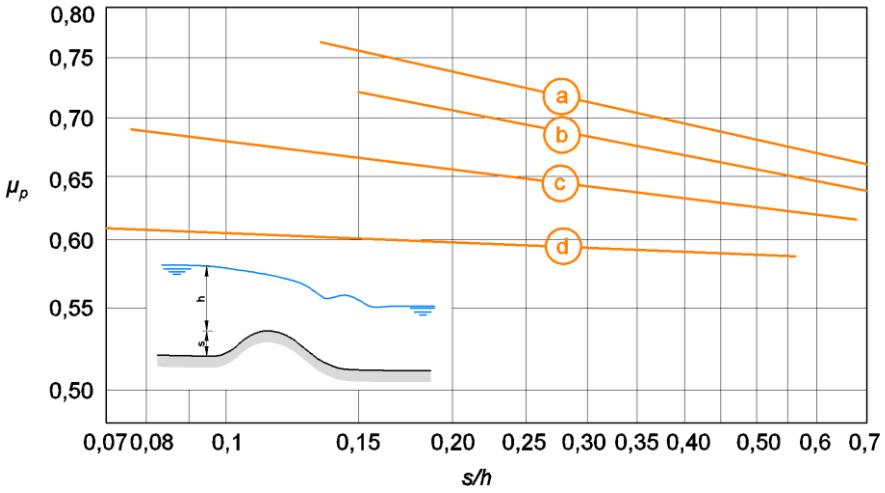


Obr. 4.7 Konštrukčné riešenia Jamborovho prahu

Hodnotu prepadového súčiniteľa Jamborovho prahu je možné v rozmedzí $0{,}5 < h/s < 2{,}8$ podľa Skaličku [27] vypočítať podľa vzťahu:

$$\frac{2}{3}\mu_p = 0{,}36273 + 0{,}05619\frac{h}{s} - 0{,}009213\left(\frac{h}{s}\right)^2 \qquad (4.7)$$

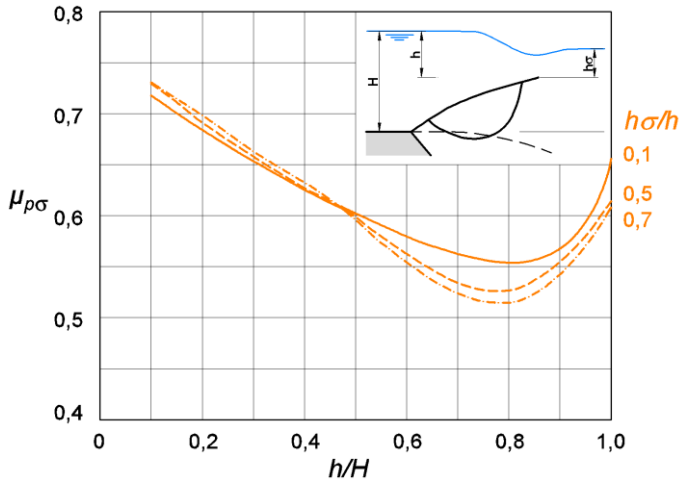
Pri vyšších hodnotách pomeru h/s je možné analogicky s bezpodtlakovým profilom očakávať mierne zvýšenie súčiniteľa prepadu Jamborovho prahu. Podľa Laca [18] je možné stanoviť hodnoty prepadového súčiniteľa Jamborovho prahu v závislosti od pomeru s/h pre rôzne typy zúženia podľa grafu na Obr. 4.8.



Obr. 4.8 Prepadový súčiniteľ Jamborovho prahu pre typ zúženia: a – bez bočného zúženia, b – bez bočného zúženia s deliacim pilierom, c – vtok s klotoidickými krídlami a s deliacim pilierom, d – pravouhlý vtok s deliacim pilierom

4.3.1.5 Prepad vody cez hradiace uzávery

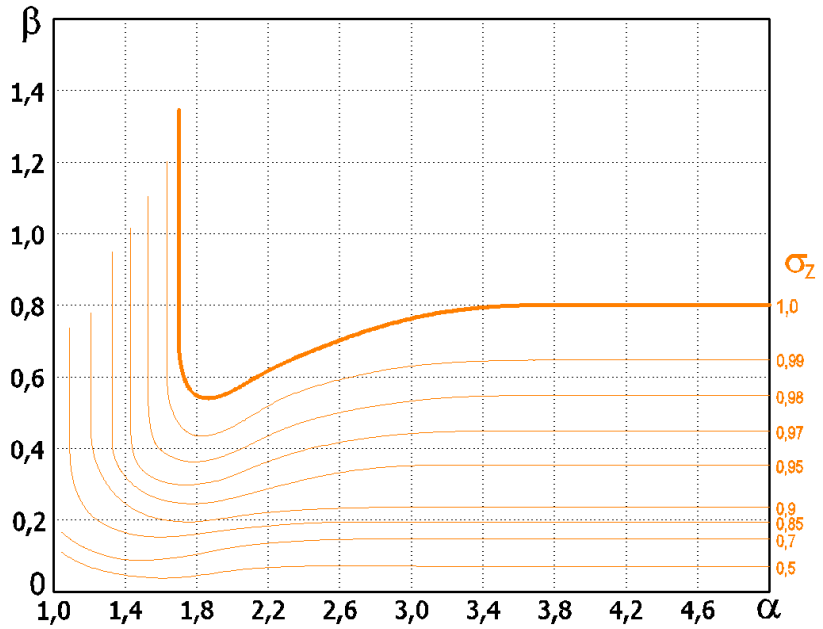
Pri prepade vody cez hradiace uzávery pohyblivých hatí sa mení nie len prepadová výška, ale často aj tvar priepadovej plochy. Ako príklad je na Obr. 4.9 graf pre stanovenie hodnoty prepadového súčiniteľa pre typovú klapku v závislosti od polohy sklopenia a polohy dolnej vody.



Obr. 4.9 Prepadový súčiniteľ pre typovú klapku $\mu_{p\sigma} = \mu_p\sigma_z$

4.3.2 Súčiniteľom zatopenia – σ_z

Súčiniteľom zatopenia σ_z je redukovaný prietok odpovedajúci dokonalému prepadu. Hodnoty súčiniteľa zatopenia v prípade nedokonalého prepadu sú $\sigma_z < 1$. Súčiniteľ zatopenia závisí od polohy dolnej hladiny, od typu prechodu prepadového lúča do dolnej vody a aj na tvare prepadovej plochy haťového telesa. Pri bezpodtlakových prepadových plochách (Kap 4.3.1) je možné pre jeho stanovenie použiť tzv. *Denverský graf* na Obr. 4.10. Jeho hodnota závisí od pomeru $\alpha = \frac{H_0+y_d}{h_0}$ a $\beta = \frac{H_0}{h_0}$.



Obr. 4.10 Denverský graf pre stanovenie súčiniteľa zatopenia σ_z

V odbornej literatúre je možné nájsť pre stanovenie hodnoty σ_z množstvo ďalších vzťahov. Pre často používaný Jamborov prah odvodil Skalička [26] na základe experimentov Doležala [5], Felkela a Laca [18] nasledovné:

- pri pomere $h/s < 3$ je vplyv dolnej vody na kapacitu hate prakticky zanedbateľný až do pomeru $h_Z/h_0 = 0{,}6$,
- pri pomere $h_Z/h_0 < 0{,}85$ a pomere $h/s < 3$ je možné stanoviť súčiniteľ zatopenia podľa Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Súčiniteľ zatopenia σ_z pre Jamborov prah

h_Z/h_0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9
σ_z	1,00	0,99	0,98	0,96	0,91	0,79

Pri pomere $h_Z/h_0 > 0{,}85$ je výpočet prietoku pomocou vzťahu (4.4), resp. (4.5) už veľmi málo presný.

V prípade, že nad korunou priepadu neprichádza k prechodu riečneho prúdenia do bystrinného (ak $h_z/h_{kr} >= 2$), je možné výšku čiary energie nad korunou priepadu stanoviť pomocou vzťahu:

$$h_0 = h_z + \frac{h_{kr}}{2}\left(\frac{h_{kr}}{h_z}\right)^2 \text{ [m]} \qquad (4.8)$$

Kritickú hĺbku h_{kr} v obdĺžnikovom profile je možné vo všeobecnosti vypočítať zo vzťahu:

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{\propto Q^2}{gb^2}} \text{ [m]} \qquad (4.9)$$

kde:

α – je Coriolisovo číslo (=1) [-],
Q – prietok cez obdĺžnikový profil [$m^3.s^{-1}$],
b – šírka obdĺžnikového profilu [m].

Pre výpočet prietoku pri nedokonalom prepade lichobežníkovým profilom (typický pre vakové hate – Kap. 8.5), je možné použiť vzťah:

$$Q = \frac{2}{3}\mu_p \sigma_z b\sqrt{2g}h_0^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15}\mu_p \sigma_z m\sqrt{2g}h_0^{\frac{3}{2}} \text{ [m}^3.\text{s}^{-1}\text{]} \qquad (4.10)$$

kde:

m – cotg uhla sklonu svahov.

Kontrolné otázky

Aký je rozdiel medzi kapacitou hate a kapacitou haťového profilu?

Čo je návrhový prietok hate a akým spôsobom sa stanoví jeho veľkosť?

Za akým účelom sa stanovuje krivka/y vzdutia v hornej zdrží hate?

Aký je rozdiel medzi dokonalým a nedokonalým prepadom cez hať?

Čo vyjadruje a od čoho závisí prepadový súčiniteľ μ_p?

Aký má vplyv tvar prúdnicovej priepadovej plochy na kapacitu hate?

Čo vyjadruje a od čoho závisí súčiniteľ zatopenia σ_z?

Čo je výhodou nízkeho zaobleného Jamborovho prahu?

4.4 Návrh počtu a šírky haťových polí

Minimálna svetlá šírka haťového poľa by mala byť s ohľadom na prevádzanie ľadov a veľkých plávajúcich predmetov 12 m.

Navrhujú sa minimálne dve haťové polia, ale odporúča sa navrhovať nepárny počet haťových polí rovnakej svetlej šírky.

Návrh základných rozmerov hate, jej celkovej šírky, počtu a rozmerov haťových polí musí byť vždy podložený technicko-ekonomickým porovnaním rôznych variant, pri ktorých je nutné rešpektovať požiadavky bezpečnosti, hospodárnosti a všetky obmedzujúce podmienky. Na základe požiadaviek kladených na hať je potrebné pri návrhu najskôr rozhodnúť, či bude vybudovaná *pevná*, alebo *pohyblivá* hať.

Pevná hať má väčšinou celú priepadovú hranu na celú šírku hate a nie je delená piliermi na jednotlivé polia. Pevná hať môže byť delená na viac polí napr. v prípade, že deliace piliere slúžia ako piliere pre premostenie hate.

Pri *pohyblivej hati* sa celková dĺžka priepadovej hrany rozdeľuje na jednotlivé haťové polia rovnakej **svetlej (konštrukčnej/stavebnej) šírky** – b_1 (Obr. 4.12), do ktorých je možné umiestniť rovnako veľké uzávery, čo je výhodné ako z prevádzkového, tak z ekonomického hľadiska. Samotná šírka haťových polí závisí aj od typu hradiaceho uzáveru. S ohľadom na ekonomický návrh uzáveru (t. j. na minimálnu spotrebu oceli na 1 m^2 hradenej plochy) je možné odporučiť nasledujúce optimálne svetlé šírky haťových polí:

- pre klapkové uzávery 12 až 18 m,
- pre segmentové uzávery 15 až 20 m,
- pre stavidlové uzávery 18 až 25 m,
- pre valcové uzávery 18 až 30 m,
- pre hydrostatické uzávery 20 až 50 m.

Uvedené optimálne šírky, okrem spotreby materiálu, závisia aj od konštrukčného riešenia uzáveru, od spôsobu pohybu uzáveru, od postupu výstavby a od ďalších faktorov, takže slúžia len pre hrubú orientáciu. Vždy je nutné prihliadať aj k usporiadaniu spodnej stavby a pilierov a v neposlednom rade aj k celkovým nákladom na výstavbu hate.

Minimálna svetlá šírka haťového poľa by mala byť s ohľadom na prevádzanie ľadov a veľkých plávajúcich predmetov 12 m.

Celková šírka hate ***B*** by mala byť približne rovnaká ako šírka koryta v dne.

Odporúča sa aby pri návrhovom prietoku bola celková účinná prietočná plocha hate väčšia než 60 % prietočnej plochy koryta. V prípade, že sa na splavnených tokoch predpokladá pri väčších prietokoch preplavovanie lodí niektorým haťovým poľom vyhradenej hate, navrhuje sa účinná prietočná plocha hate cca 75 až 80 % prietočnej plochy koryta. To by malo zaistiť, že rýchlosť prúdenia v profile haťového poľa neprekročí prípustnú hodnotu rýchlosti pre plavbu.

Odporúča sa navrhovať minimálne dve haťové polia. Z hľadiska zaistenia hydraulicky vhodnejšieho (symetrického) ovládanie prietokových pomerov (a to najmä vo vzťahu k rovnomernému zaťažovaniu podhatia) je však vhodnejšie navrhovať nepárny počet haťových polí rovnakej svetlej šírky.

V prípade malých povodí (50 až 100 km^2) je možné navrhnúť aj jedno haťové pole. V takomto prípade je však nutné vyriešiť otázku prevádzania vody pri provizórnom zahradení poľa počas revízie, údržby a opravy samotného uzáveru.

Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

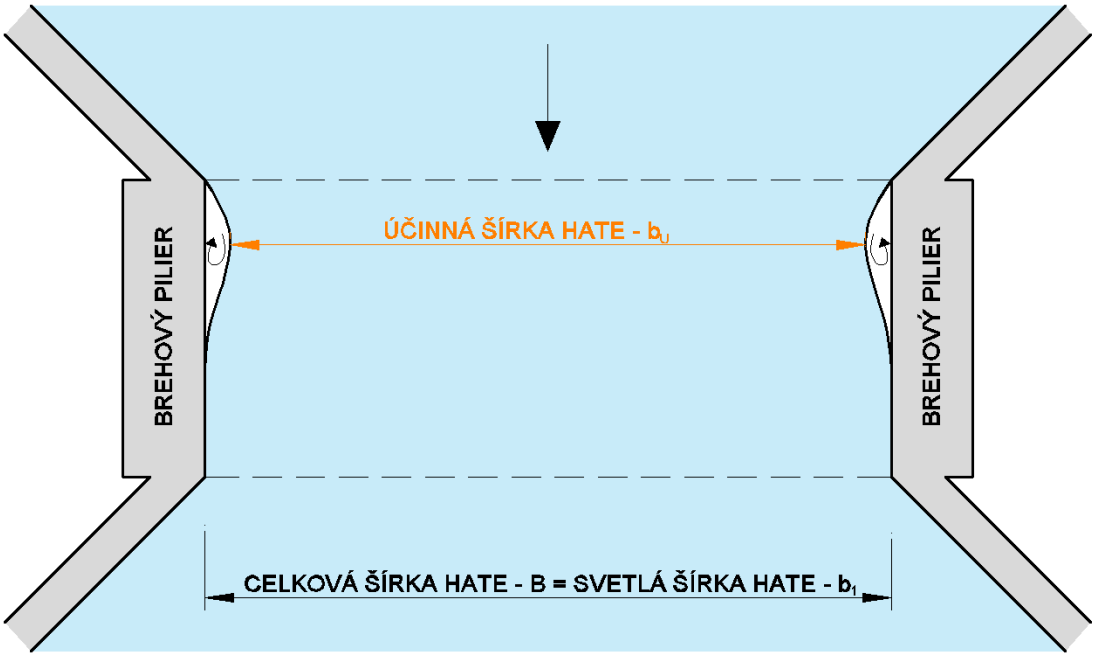
Pri hydrotechnickom výpočte *šírky hate* vychádzame v zmysle Obr. 4.4 z danej maximálnej prevázkovej hladiny nad haťou (pozri Kap. 4.2), z výškovej polohy koruny pevnej hate, resp. prahu pohyblivej hate a z hladiny vody pod haťou stanovenej z odtokových pomerov v odpadnom koryte (konzumpčná merná krivka prietokov).

Pri výpočte **účinnej** (efektívnej) **šírky hate – b_U** (t. j. šírky koruny, resp. prahu hate, ktorá sa aktívne podieľa na prevádzaní prietoku – pozri Obr. 4.11) je možné vychádzať zo vzťahu:

$$b_U = \frac{3Q_n}{2\mu_p \sigma_z \sqrt{2g} h_0^{\frac{3}{2}}} \text{ [m]} \qquad (4.11)$$

kde:

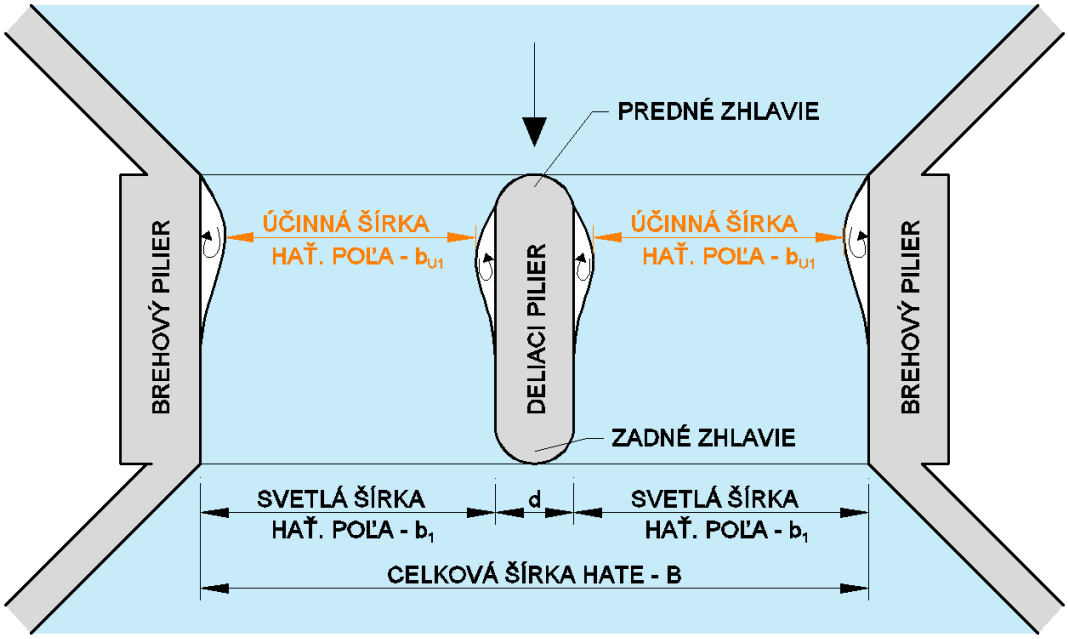
Q_n – návrhový prietok hate [m^3.s^{-1}] (Kap. 4.1),
μ_p – je prepadový súčiniteľ [-],
σ_z – súčiniteľ zatopenia charakterizujúci vplyv hladiny dolnej vody na prietok haťou [-].
g – gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}],
h_0 – zvislá vzdialenosť medzi čiarou energie a korunou priepadu [m]; $h_0 = h + h_{d0}$
h – výška prepadového lúča (prepadová výška) [m],
$h_{d0}=\alpha v_0/2g$ – rýchlostná výška [m],
v_0 – prítoková rýchlosť [m.s^{-1}].



Obr. 4.11 Schéma stanovenia šírky pre hať s jedným haťovým poľom

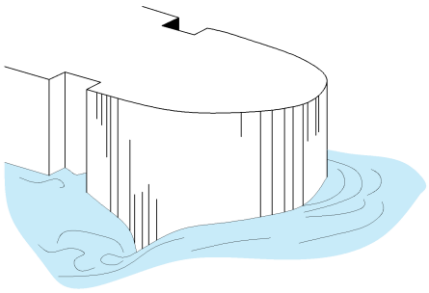
Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

Kapacita hate je ovplyvňovaná nielen šírkou haťových polí, ale aj počtom a tvarom deliacich pilierov a zároveň aj tvarom brehových pilierov.



Obr. 4.12 Schéma stanovenia šírky pre hať s dvomi haťovými poľami

Kapacitu hate je ovplyvňovaná nielen počtom deliacich pilierov, ale aj ich tvarom a zároveň aj tvarom brehových pilierov. Vplyvom nedokonalého obtekania piliera (Obr. 4.13) vznikajú v jeho tesnej blízkosti vodné valce so zvislou osou, ktoré spôsobujú bočné kontrakcie vodného prúdu, a tým zmenšenie prietočnosti hate.



Obr. 4.13 Kontrakcia vodného prúdu v okolí deliaceho piliera

V súvislosti s bočnou kontrakciou je vo všeobecnosti možné pre n_p počet haťových polí stanoviť celkovú svetlú (konštrukčnú/stavebnú) šírku haťových polí pomocou vzťahu:

$$b = n_p b_1 = b_U + (2n_{pil}\xi_p + 2\xi_k)h_0 \quad [\text{m}] \tag{4.12}$$

kde:

b_1 – je svetlá šírka haťového poľa [m],
b_U – účinná šírka hate vypočítaná podľa vzťahu (4.11) [m],
n_{pil} – počet deliacich pilierov; pričom $n_{pil} = n_p - 1$, kde: n_p – počet haťových polí,
ξ_p – súčiniteľ kontrakcie podľa tvaru predného zhlavia piliera (Obr. 4.16),
ξ_k – súčiniteľ kontrakcie podľa tvaru brehových krídiel (Obr. 4.25).

Vo všeobecnosti je možné povedať, že pri dokonalom prepade má na prietočnú kapacitu hate väčší vplyv tvar **predného** zhlavia piliera a v prípade nedokonalého priepadu je to tvar **zadného** zhlavia. Preto v prípade, že návrhový prietok preteká haťou pri nedokonalom prepade, je treba venovať pozornosť aj návrhu zadného zhlavia deliacich pilierov. Účinná šírka hate b_U je potom súčtom dielčich šírok pre najnepriaznivejší prípad kontrakcie.

4.4.1 Návrh tvaru haťových pilierov a brehových krídiel

Pri prúdnicovom tvare haťových pilierov je vplyv kontrakcie na kapacitu hate prakticky zanedbateľný.

Okrem bočnej kontrakcie spôsobujú piliere hate aj vzdutie hladiny nad haťou a vymieľanie dna v okolí zhlavia pilierov. Preto je snaha vhodným návrhom tvaru pilierov obmedziť tieto nepriaznivé účinky na minimum.

Deliace piliere

Pri významných konštrukciách sa pôdorysný tvar pilierov navrhuje ***prúdnicového tvaru*** (Obr. 4.14), v prípade ktorého **je vplyv kontrakcie na kapacitu hate prakticky zanedbateľný**. Podľa výskumu Čábelku [3] má optimálny tvar prúdnicového piliera štíhlostný pomer:

$$\lambda = \frac{L}{d} = 3 \sim 3{,}5 \qquad (4.13)$$

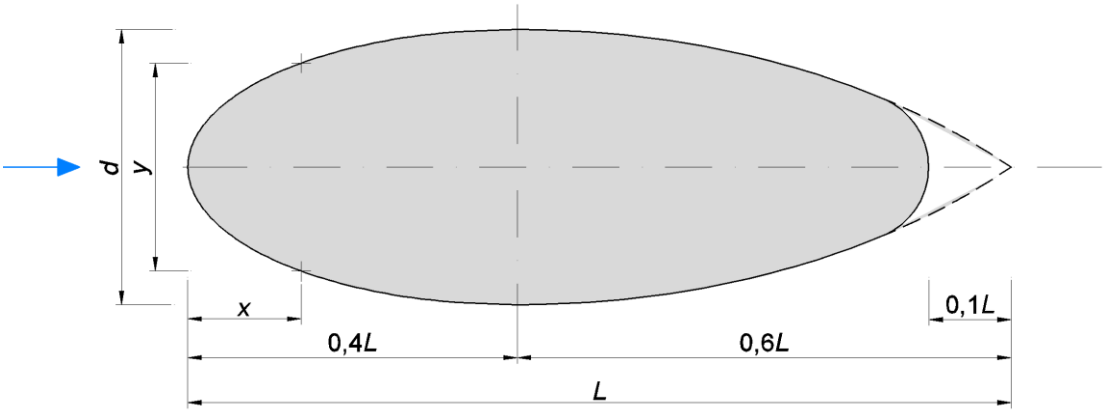
kde:

L – je teoretická dĺžka piliera,

d – šírka deliaceho piliera.

Šírka deliaceho piliera d závisí najmä od jeho zaťaženia, od spôsobu ako sa prenáša toto zaťaženie do podložia a od jeho únosnosti. Šírka piliera je podmienená aj typom uzáveru a rozmermi ovládacích mechanizmov uzáverov.

Bližšie je problematika konštrukčného riešenia deliacich pilierov hate popísaná v Kap. 5.5.



Obr. 4.14 Prúdnicový tvar deliaceho piliera

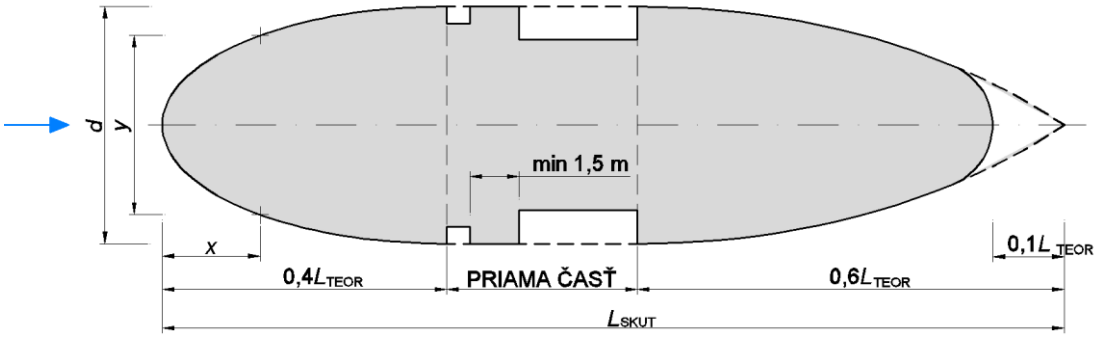
Súradnice prúdnicového tvaru piliera je možné odvodiť z pomerných hodnôt uvedených v Tab. 4.3, ich vynásobením dĺžkou L a šírkou piliera d. Z ekonomických dôvodov sa však piliere

navrhujú kratšie so štíhlostným pomerom $\lambda = 2{,}0$ až $2{,}5$. Ostré zakončenie zadného zhlavia sa obyčajne skracuje o dĺžku $(0{,}1$ až $0{,}15)L$ a zaobľuje sa valcovou plochou. Takto navrhnutý pilier je pomerne krátky, z konštrukčného hľadiska však nie je vhodný pre umiestnenie uzáverov, provizórnych hradení, resp. premostenia. Preto sa medzi vytvorené predné zhlavie dĺžky $0{,}4L$ a zadné zhlavie dĺžky $0{,}6L$ vkladá priama časť. Skutočná dĺžka piliera je potom väčšia ako teoretická (Obr. 4.15).

Tab. 4.3 Súradnice prúdnicového tvaru hať ového piliera prah

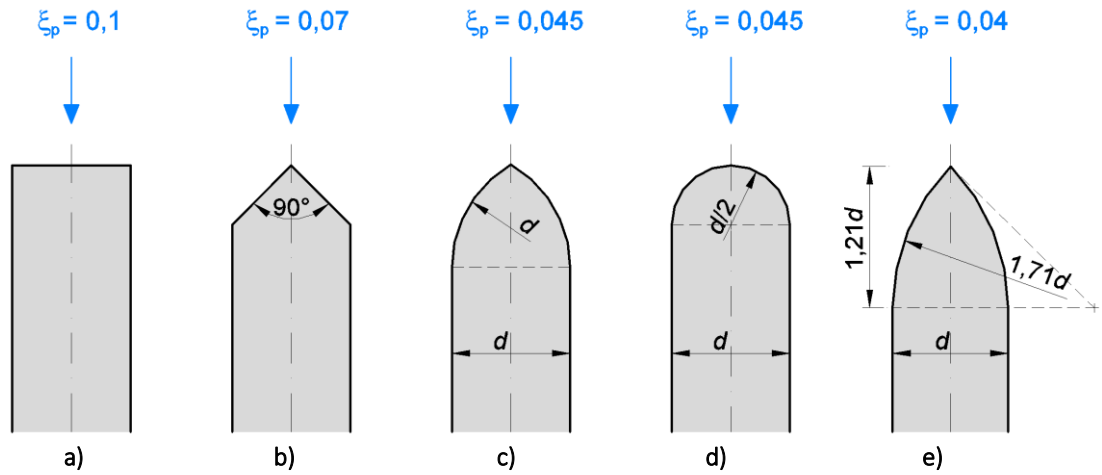
	predné zhlavie							
x/L	0,0	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
y/d	0,0	0,2478	0,348	0,484	0,662	0,866	0,982	1,0

	zadné zhlavie						
x/L	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0
y/d	0,976	0,905	0,782	0,600	0,367	0,187	0,0



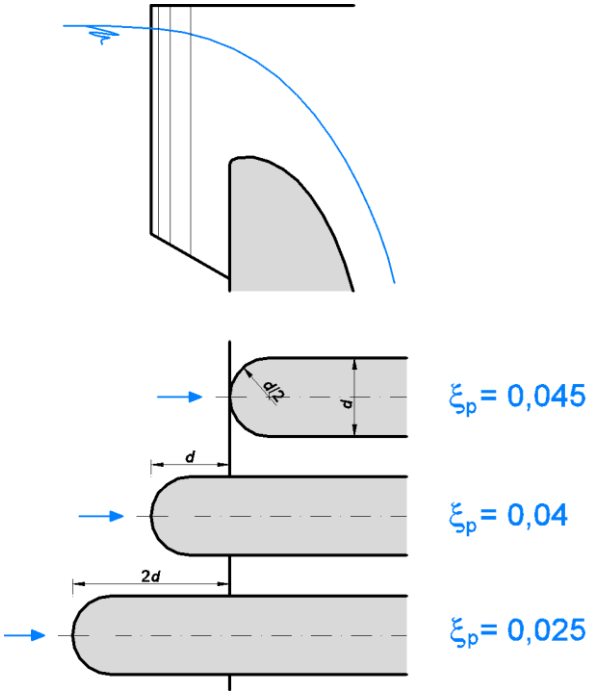
Obr. 4.15 Príklad prúdnicového tvaru deliaceho piliera s vloženou priamou časťou pre umiestnenie drážok provizórneho hradenia a drážok pohyblivého uzáveru

Pri menej významných konštrukciách je možné navrhnúť aj iné tvary zhlavia deliacich pilierov (Obr. 4.16).



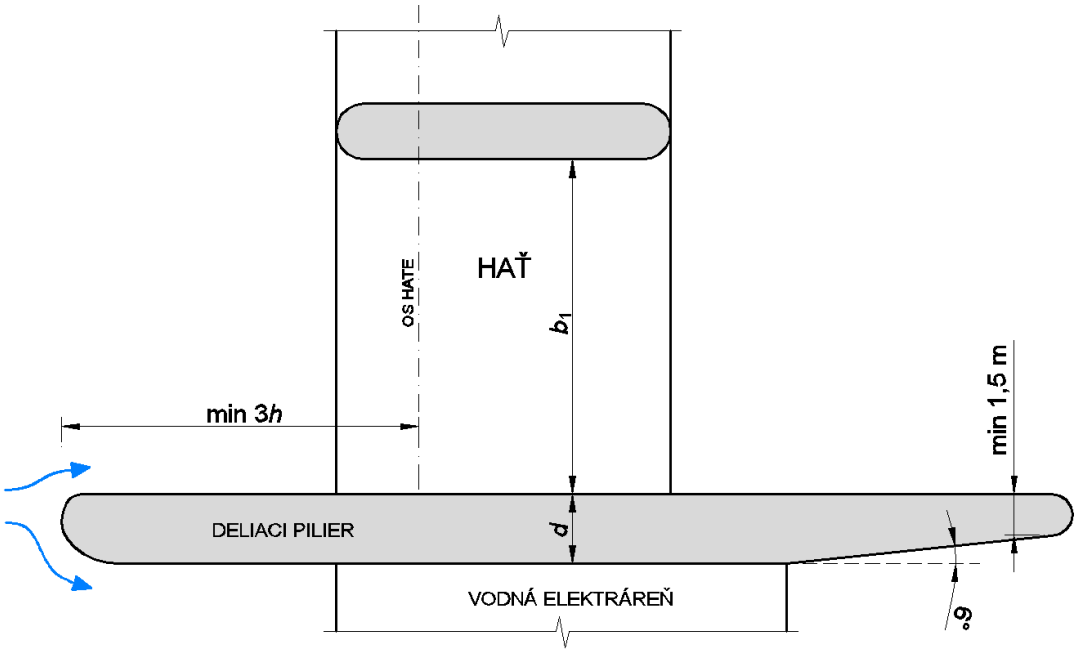
Obr. 4.16 Tvary predného zhlavia deliacich pilierov a ich súčinitele kontrakcie

V prípade vysokých hatí je možné vplyv kontrakcie znížiť vysunutím predného zhlavia piliera pred priepadovú hranu (Obr. 4.17).



Obr. 4.17 Vplyv predsadenia čela piliera pred priepadovú hranu hate na súčiniteľ kontrakcie

V prípade, že je priamo vedľa hate umiestnený napr. odberný objekt alebo vodná elektráreň oddelená od hate deliacim pilierom (Obr. 4.18), môže byť tento pilier obtekaný nesymetricky. V takomto prípade je vhodné navrhnúť nesymetrický prúdnicový tvar zhlavia.



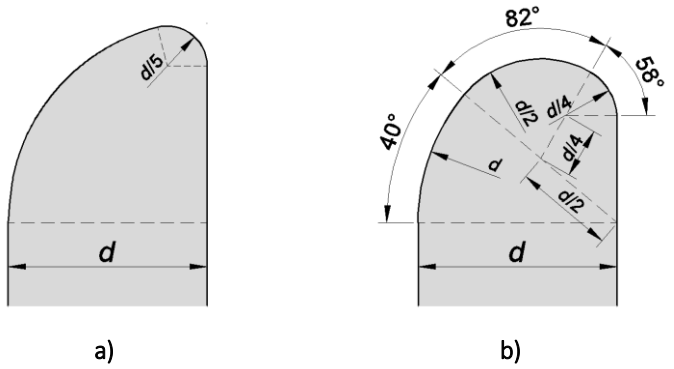
Obr. 4.18 Pôdorysný tvar nesymetrického deliaceho piliera medzi haťou a vodnou elektrárňou

Naklonením čela piliera proti prúdu sa zlepší prúdenie haťou.

Deliaci pilier je vhodné vysunúť do hornej vody minimálne o trojnásobok prepadovej výšky h. Pre predbežný návrh šírky nesymetrického deliaceho piliera d, je možné pre svetlú šírku priľahlého haťového poľa b_1 použiť odporúčania podľa [6]:

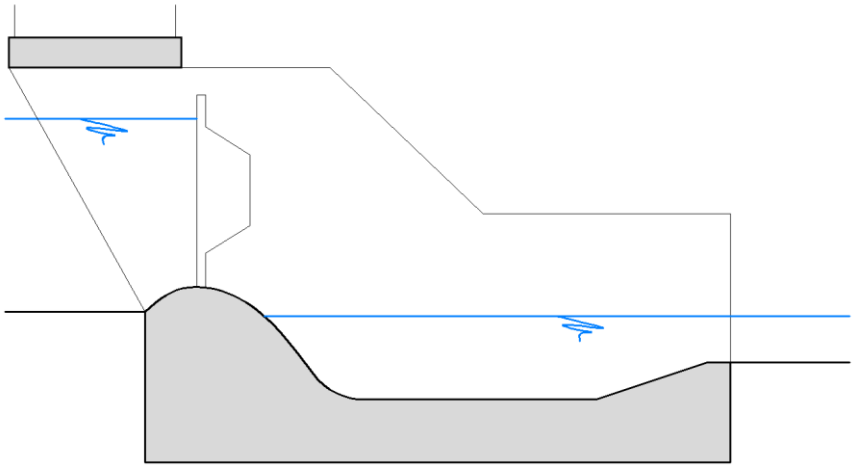
stavidlový uzáver	$d = 0{,}25 \sim 0{,}35 b_1$	(4.14)
segmentový uzáver	$d = 0{,}20 \sim 0{,}25 b_1$	
klapkový uzáver	$d = 0{,}15 \sim 0{,}20 b_1$	

Pôdorysný tvar predného zhlavia nesymetrického piliera je možné stanoviť viacerými spôsobmi. Ideálnemu prúdnicovému tvaru sa blíži napr. jednozávitová logaritmická špirála (Obr. 4.19a). Jednoduchší tvar je možné vytvoriť napr. z kružnicových oblúkov (Obr. 4.19b).



Obr. 4.19 Nesymetrický prúdnicový tvar predného zhlavia deliaceho piliera medzi haťou a vodnou elektrárňou, resp. odberným objektom

Čelá predných zhlaví pilierov so symetrickým aj nesymetrickým tvarom sa navrhujú zvislé alebo naklonené po prúde, resp. proti prúdu. Naklonením čela piliera proti prúdu (Obr. 5.63) sa zvýši kapacita hate [10], pričom na konzolovito vysunutej hornej časti je možné napr. umiestniť premostenie bez nutnosti predĺženia základovej škáry piliera (Obr. 4.20).

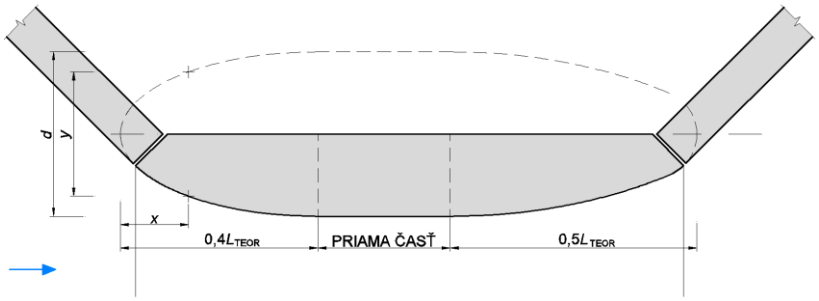


Obr. 4.20 Príklad naklonenia čela piliera proti prúdu

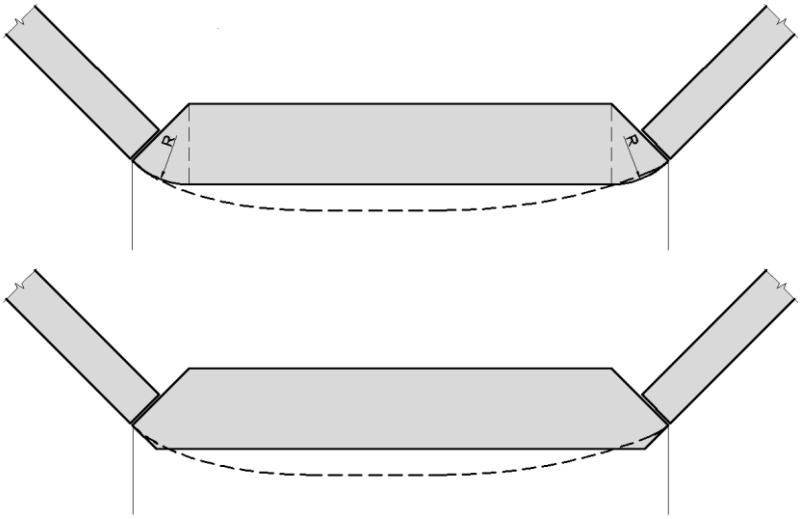
Brehové piliere

V prípade, že na hať priamo nenadväzuje iný objekt (napr. vodná elektráreň, plavebná komora, rybovod, odberný objekt a pod.), sú krajné haťové polia ukončené brehovými piliermi (Obr. 3.14). Tvar brehového piliera treba navrhnúť tak, aby bol hydraulicky plynule obtekaný s minimálnym vplyvom kontrakcie prúdu na kapacitu hate. Tak ako v prípade deliacich pilierov je možné postupovať podľa odporúčaní v zmysle vzťahu (4.13). Ideálny je prúdnicový tvar, pri ktorom je vplyv kontrakcie prakticky zanedbateľný (Obr. 4.21). Takéto hydraulicky výhodné riešenie je však z hľadiska vyhotovenia pomerne zložité, preto sa dáva prednosť jednoduchším tvarom (Obr. 4.22).

Bližšie je problematika konštrukčného riešenia brehových pilierov hate popísaná v Kap.5.6.



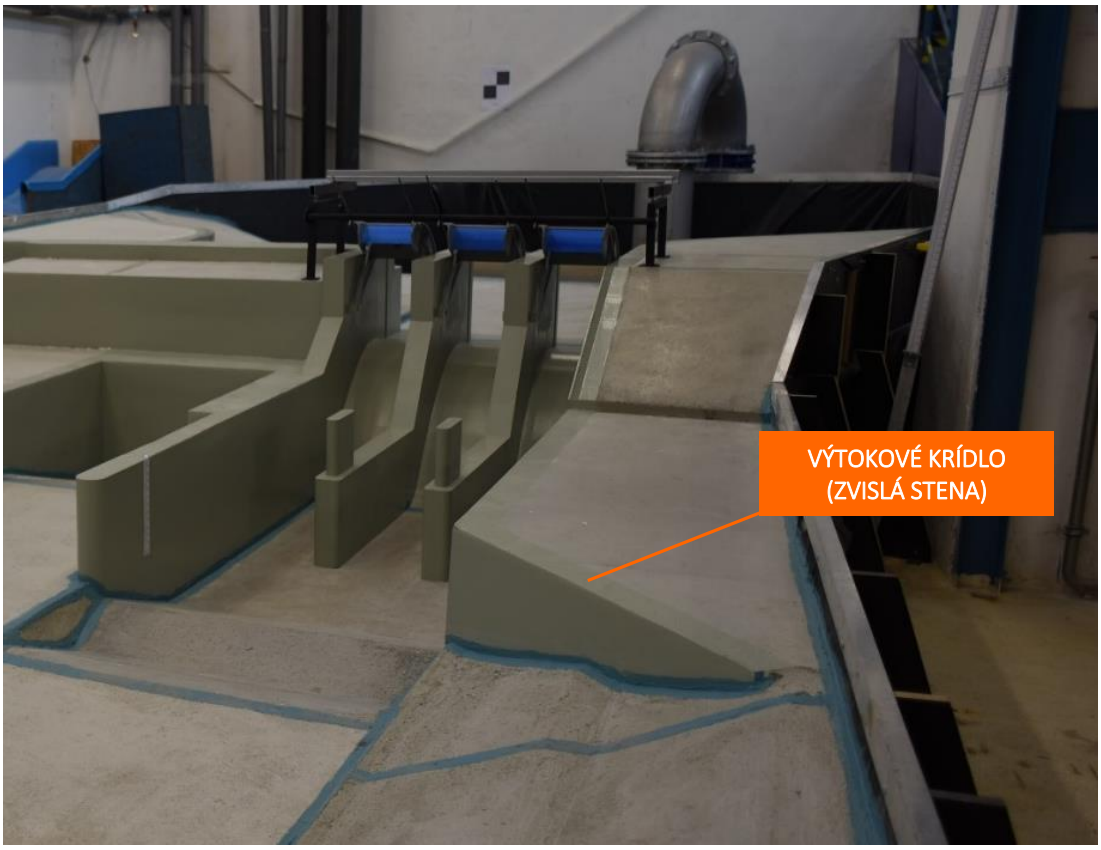
Obr. 4.21 Prúdnicový tvar brehového piliera



Obr. 4.22 Zjednodušené tvary brehových pilierov

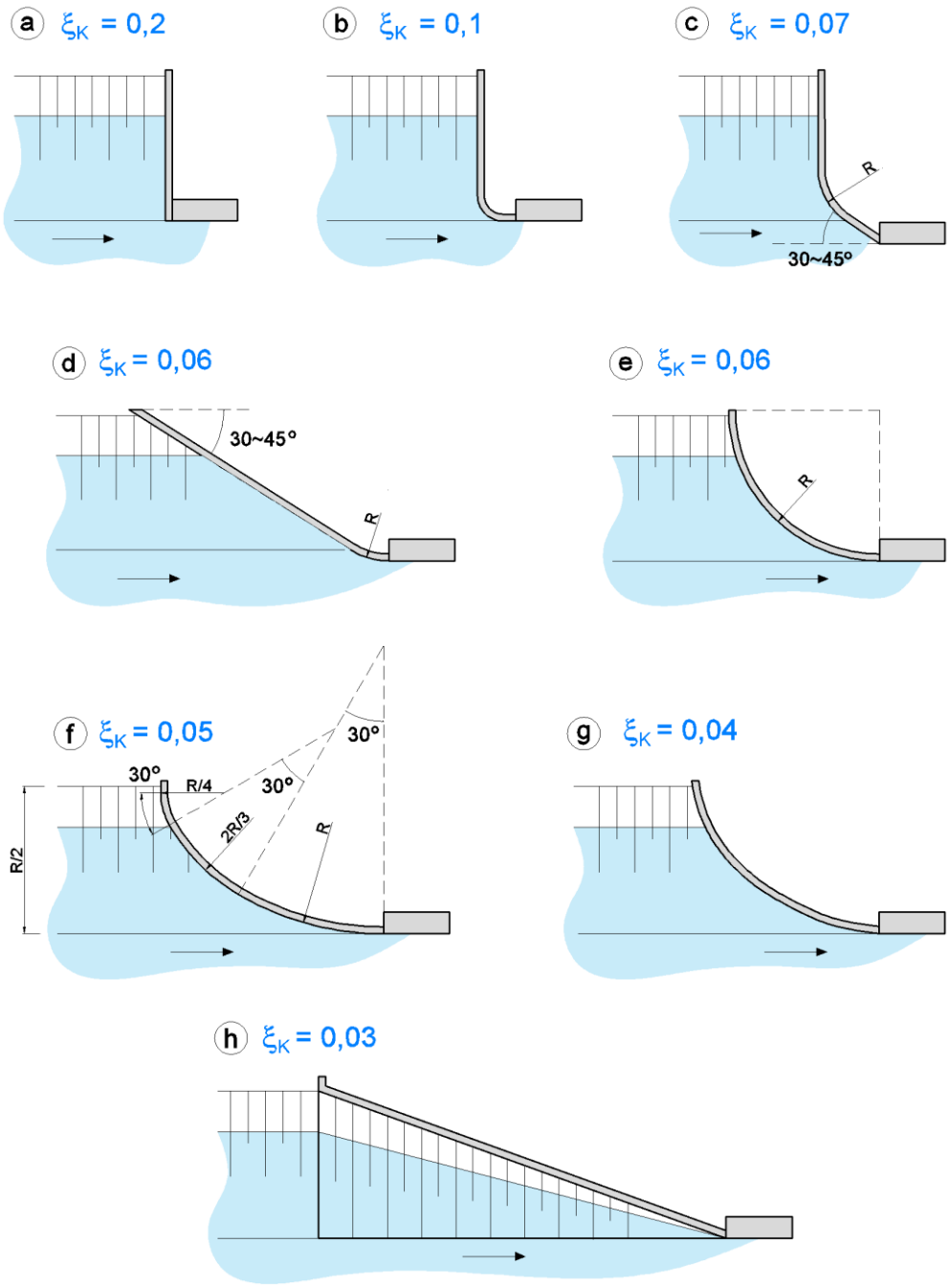
Brehové krídla

Okrem haťových pilierov majú na kapacitu hate vplyv aj *brehové krídla*, ktoré nadväzujú na brehové piliere, tak aby plynule usmerňovali vodu do haťového otvoru a zároveň obmedzovali filtráciu vody v okolí hate. Lícne plochy vtokových, resp. výtokových krídiel sa najčastejšie navrhujú *zvislé* (Obr. 4.23), ale môžu byť aj mierne naklonené alebo majú tvar tzv. *„zbortenej" plochy* (Obr. 4.24).



Obr. 4.23 Zvislá plocha výtokového krídla na hati VD Žilina – fyzikálny model v hydrotechnickom laboratóriu Katedry hydrotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave (Zdroj: archív autora)

Obr. 4.24 Zbortená plocha výtokového krídla na hati Vodného diela Drahovce na Váhu (Zdroj: https://www.pic-piestany.sk)



Obr. 4.25 Tvary krídiel brehových pilierov a ich súčiniteľ kontrakcie

Od tvaru brehových krídiel závisí veľkosť kontrakcie. Na Obr. 4.25 sú pre rôzne typy brehových krídiel uvedené hodnoty súčiniteľa kontrakcie ξ_K. Z hydraulického hľadiska je najmenej vhodné kolmé krídlo so zvislou plochou (Obr. 4.25a). Vhodnejším a väčšinou vyhovujúcim riešením je šikmé krídlo so zvislou plochou plynule napojenou na brehový pilier oblúkom s dostatočne veľkým polomerom (Obr. 4.25d). Dilatačná škára medzi krídlom a brehovým pilierom by však mala byť posunutá pred toto zaoblenie predĺžením brehového piliera (Obr. 4.22). Hydraulicky výhodný je aj eliptický tvar krídla so zvislou plochou (Obr. 4.25g). Vzhľadom k jednoduchšej

výstavbe je však nahrádzaný zloženým kruhovým oblúkom (Obr. 4.25f) resp. štvrťkruhovým oblúkom (Obr. 4.25e). Pri porovnaní riešení na Obr. 4.25d,e,f a na Obr. 4.25g je zrejmé, z hľadiska vplyvu na kontrakciu sú rozdiely relatívne malé a rozhodovať budú skôr stavebné náklady. Podobne je to aj v prípade riešenia brehového krídla ako „zbortenej" šikmej plochy tvoriacej plynulý prechod zo zvislej roviny v mieste pripojenia na brehový pilier do lichobežníkového profilu koryta (Obr. 4.25h). Krídla takéhoto typu sú pomerne nákladné, náročne sa debnia a betónujú; náročné je aj zhutnenie spätného zásypu zeminy za naklonenou stenou. Navyše hydraulické výskumy ukazujú, že tento tvar nie je hydraulicky až tak výhodnejší ako omnoho konštrukčne jednoduchšie krídla.

Na vzdušnej strane sa obyčajne brehové piliere ukončujú krídlami podobného typu ako na návodnej strane. Ich hydraulicky nevhodný tvar má pritom podstatne nepriaznivejší vplyv na kapacitu hate, ako tvar návodných krídiel.

Kontrolné otázky

Aká je minimálna svetlá šírka haťového poľa?

Aký minimálny počet haťových polí sa navrhuje?

Aký má vplyv tvar zhlavia deliaceho piliera na kapacitu hate?

Má na kapacitu hate vplyv aj tvar zadného zhlavia deliaceho piliera?

Existuje tvar piliera, pri ktorého obtekaní je vplyv kontrakcie na kapacitu hate prakticky zanedbateľný?

Aká je minimálna šírka deliaceho piliera?

Má na kapacitu hate vplyv dĺžka predsadenia deliaceho piliera pred priepadovú hranu hate a naklonenie čela deliaceho piliera proti prúdu?

Aký je ideálny tvar brehového piliera?

Aký má vplyv tvaru brehových krídiel na kapacitu hate?

4.5 Návrh podhatia

Účelom vývaru je lokalizovať vodný skok bezprostredne za haťovým telesom a zaistiť stabilitu hate ohrozovanú možnými výmoľm v podhatí.

Voda prepadajúca cez pevnú hať alebo cez hradiacu konštrukciu pohyblivej hate, resp. vytekajúca pod ňou, prúdi takmer vždy *bystrinne* (t. z., že prúdi pri malej hĺbke veľkou rýchlosťou) a dopadá na dno koryta pod haťou. Veľkej kinetickej energii vodného prúdu by dno pod haťou nebolo schopné odolávať (vznikali by veľké výmole). Pre účinné tlmenie kinetickej energie vody je potrebné, aby bystrinné prúdenie bezprostredne pod haťovým telesom prešlo do prúdenia *riečneho* (t. z., aby voda pri väčšej hĺbke prúdila malou rýchlosťou) a aby vznikol vodný skok.

Najvýhodnejším spôsobom utlmenia vodnej energie je zámerné vytvorenie priľahlého vodného skoku v *prehĺbenom vývare* (Obr. 4.27). Účelom vývaru je nielen lokalizovať vodný skok bezprostredne za haťovým telesom, ale aj zaistiť stabilitu hate ohrozovanú možnými výmoľmi.

Ďalšou možnosťou je rozdelenie účinku vodného prúdu vhodne umiestnenými *rozrážačmi* alebo *zdrsnením dna* koryta (Kap. 4.5.3), resp. vhodným tvarovaním priepadovej plochy hate usmerniť prepadový lúč tak, aby vodný skok (**sprevádzaný uvoľnením veľkého množstva energie**) nevznikol pri dne, ale až v určitej výške nad dnom (Kap. 4.5.4).

Ani pri najlepšom návrhu tlmiacich opatrení (vývaru, resp. rozrážačov) však nie je ich účinok dokonalý a v koryte vznikajú menšie výmole, ktoré by však tiež nemali ohrozovať stabilitu hate. To je dôvod prečo je aj nadväzujúce koryto tesne za vývarom opevnené a chránené pred vymieľaním (Kap. 4.5.5).

V niektorých výnimočných prípadoch nie je nutné vytvárať v podhatí vývar (tzv. *bezvývarové tlmenie*) a koryto býva opevnené iba ťažkou kamennou zahádzkou.

4.5.1 Spojenie hladín hornej a dolnej zdrže hate; vodný skok

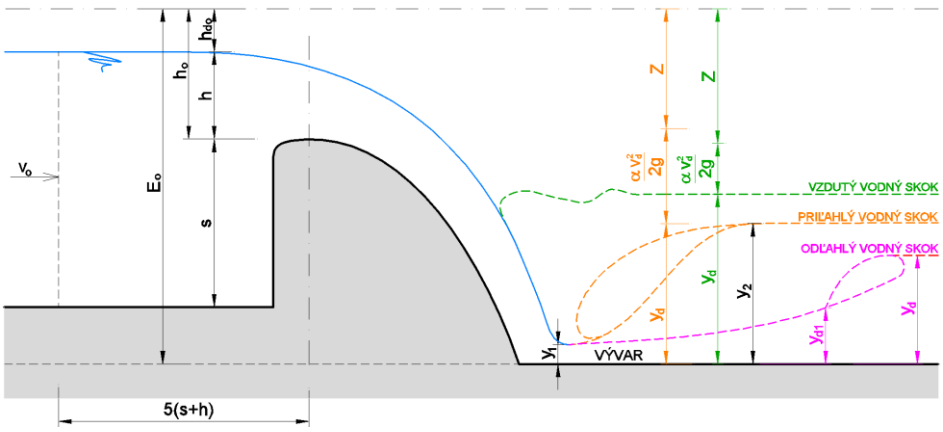
Bystrinný prúd s hĺbkou y_1, ktorý vznikne pod priepadom haťového telesa, môže prejsť do riečneho prúdenia prostredníctvom vodného skoku (Obr. 4.26). Medzi hĺbkou bystrinného prúdu y_1 (tzv. *prvá vzájomná hĺbka*) a hĺbkou riečneho prúdu y_2 (tzv. *druhá vzájomná hĺbka*) existuje jednoznačný vzťah (4.17*)* vychádzajúci z Bernoulliho rovnice:

$$E_0 = y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g\varphi^2} = y_1 + \frac{\alpha q^2}{2gy_1^2\varphi^2} \qquad (4.15)$$

kde:

q – je špecifický prietok, t. j. prietok na 1 m šírky priepadu, $q = \frac{Q}{b}$ [m^3.s^{-1}.m^{-1}],

φ – rýchlostný súčiniteľ, ktorý vyjadruje pomer skutočnej a teoretickej rýchlosti ($\varphi < 1$) – pozri Tab. 4.4. Rýchlostný súčiniteľ charakterizuje straty pri prúdení vody z hornej zdrže hate až k jeho päte, ktoré závisia najmä od druhu prúdenia, od konštrukčného riešenia a parametroch haťového telesa.



Obr. 4.26 Spojenie hladín hornej a dolnej zdrže hate

Prvú vzájomnú hĺbku vodného skoku je možné vypočítať zo vzťahu pre najmenšiu hĺbku:

$$y_1 = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(E_0 - y_1)}} \qquad (4.16)$$

Druhú vzájomnú hĺbku y_2 vodného skoku dostaneme pomocou vzťahu odvodeného z vety o zmene hybnosti, ktorý je možné pre koryto obdĺžnikového profilu zapísať v tvare:

$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1\right) \qquad (4.17)$$

kde:

Fr – je Froudovo číslo, ktoré je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$Fr = \frac{\beta q}{y_1\sqrt{g y_1}} \qquad (4.18)$$

kde:

β – je Boussinesqovo číslo, vyjadrujúce nerovnomerné rozdelenie hybností ($1{,}05$ až $1{,}15$).

Prehĺbením dna pod haťou sa snažíme, aby sa bezprostredne za haťovým telesom vytvoril priľahlý vodný skok.

V prípade, že sa skutočná hĺbka dolnej vody pod haťou y_d rovná vypočítanej druhej vzájomnej hĺbke y_2, je splnená podmienka pre vznik ***priľahlého*** prostého vodného skoku. V prípade, že $y_d > y_2$ prichádza k zahlteniu vodného skoku a vytvorí sa tzv. ***vzdutý*** vodný skok. V prípade, že $y_d < y_2$ nemôže pri hati vzniknúť vodný skok a bystrinné prúdenie pokračuje ďalej. Pri malých sklonoch dna mernej energie postupne ubúda, hĺbka v toku sa postupne zväčšuje, až dosiahne hodnotu y_{d1}, ktorá je vzájomná ku skutočnej hĺbke y_d. V tomto mieste vznikne tiež prostý vodný skok, ktorý môžeme vzhľadom na jeho umiestnenie nazývať ***odľahlý***. Aby nenastal tento prípad, snažíme sa stabilizovať vodný skok prehĺbením dna vývaru tak, aby sa bezprostredne za haťovým telesom vytvoril priľahlý vodný skok (Obr. 4.27).

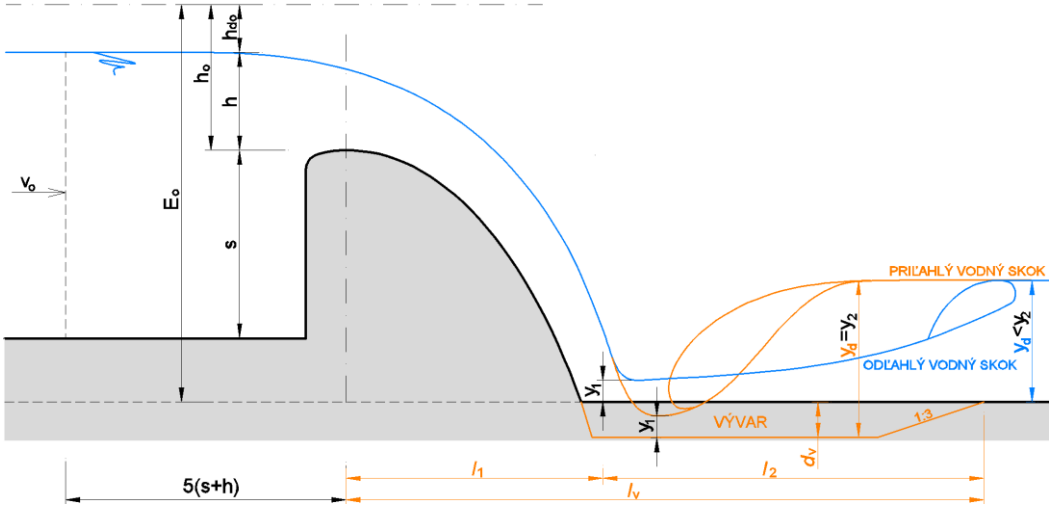
Tab. 4.4 Rýchlostný súčiniteľ φ

Popis prúdenia	φ
1. Výtok pod stavidlom do voľna - lúč nepodopretý	0,97 až 1,0
2. Výtok pod stavidlom s otvorom pri dne	0,95 až 1,0
3. Prepad cez stupeň v dne	1,0
4. Prepad alebo výtok pri nízkej pohyblivej hradiacej konštrukcii na stupni v dne	0,97 až 1,0
5. Voľný prepad cez hať s bezpodtlakovou priepadovou plochou	
a) malá dĺžka priepadovej plochy	1,0
b) stredná dĺžka priepadovej plochy (E_0 = 15 m)	0,95
c) veľká dĺžka priepadovej plochy (E_0 = 25; 30; 50; 70 m)	0,90; 0,85; 0,75; 0;73
6. Výtok pod hradiacou konštrukciou na korune vyššej hate s bezpodtlakovou priepadovou plochou	
a) malá dĺžka priepadovej plochy	0,95
b) stredná dĺžka priepadovej plochy	0,90
c) veľká dĺžka priepadovej plochy	0,85
7. Prepad cez nízku hať s hydraulicky nevýhodnou priepadovou plochou	0,8 až 0,9
8. Prepad cez nízku hať so širokou korunou	0,85 až 0,95

4.5.2 Návrh vývaru

V ďalšom je uvedený postup dimenzovania u nás najčastejšie používaného klasického vývaru obdĺžnikového pôdorysu so zvislými bočnými stenami, v ktorom sa vytvára *dnový režim prúdenia*, pri ktorom sú rýchlosti pri dne vývaru väčšie než pri hladine.

Pri návrhu vývaru je nevyhnuté preveriť vývar pre rôzne prietoky, pretože najväčšia hĺbka a dĺžka vývaru nemusí zodpovedať maximálnemu prietoku haťou.



Obr. 4.27 Prehĺbenie dna vývaru za účelom lokalizácie priľahlého vodného skoku za telesom hate

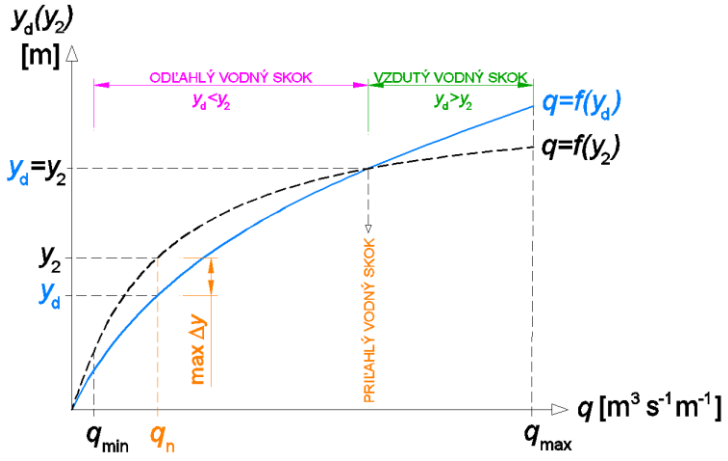
Základnými parametrami vývaru sú v zmysle Obr. 4.27:

d_v – hĺbka vývaru,
l_v – dĺžka vývaru.

Tieto hodnoty treba navrhnúť tak, aby zabezpečovali spoľahlivé tlmenie kinetickej energie vodného prúdu vo všetkých situáciách, ktoré môžu počas výstavby a prevádzky nastať. Pri návrhu vývaru je nevyhnuté preveriť vývar pre všetky reálne prietoky, pretože najväčšia hĺbka a dĺžka vývaru nemusí zodpovedať maximálnemu prietoku haťou.

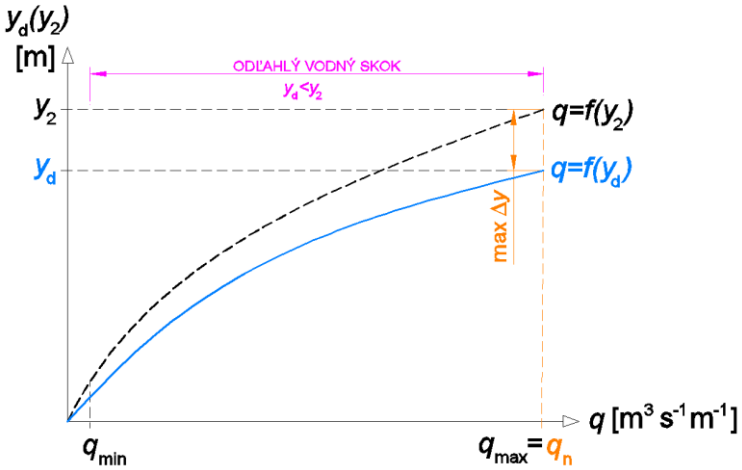
Návrhový prietok – q_n

Pre stanovenie *návrhového (najnepriaznivejšieho) prietoku* q_n pre dimenzovanie vývaru je možné použiť vzájomný vzťah mernej krivky koryta pod haťou $q = f(y_d)$ a krivky závislosti $q = f(y_2)$. Potom návrhový prietok q_n je prietok, pre ktorý je $\Delta y = y_2 - y_2$ maximálny (Obr. 4.28). V prípade, že sa krivka $q = f(y_2)$ nachádza v celom rozsahu prietokov nad krivkou $q = f(y_d)$ návrhovým prietokom q_n je prietok maximálny (Obr. 4.29).



Obr. 4.28 Určenie návrhového prietoku q_n pre dimenzovanie vývaru

V prípade, že výpočtom stanovená hĺbka vývaru je veľmi malá, resp. pre všetky prietoky v rozmedzí q_{min} až q_{max} sa za haťou vytvorí vzdutý vodný skok, je vhodné navrhnúť minimálny – konštrukčný vývar aspoň 0,5 m hlboký.



Obr. 4.29 Určenie návrhového prietoku q_n pre dimenzovanie vývaru v prípade, že $y_d < y_2$ p

Hĺbka vývaru – d_v

Hĺbku vývaru je možné vypočítať rôznymi spôsobmi. V prípade, že sa neuvažuje s vplyvom rozdielu rýchlostných výšok medzi vývarom a dolnou zdržou (t. z., že sa zanedbáva strata pri výtoku z vývaru do dolnej vody), hĺbku vývaru je možné stanoviť zo vzťahu:

$$d_v = \sigma y_2 - y_d \qquad (4.19)$$

kde:

- σ – je súčiniteľ, ktorý určuje odporúčanú mieru vzdutia pre vytvorenie stabilného priľahlého vodného skoku; $\sigma = 1{,}05$ až $1{,}1$,
- y_2 – druhá vzájomná hĺbka vodného skoku pri návrhovom prietoku q_n podľa (4.17),
- y_d – hĺbka v dolnej zdrži hate pri návrhovom prietoku q_n.

V prípade, že výpočtom stanovená hĺbka vývaru je veľmi malá, resp. pre všetky prietoky v rozmedzí q_{min} až q_{max} sa za haťou vytvorí vzdutý vodný skok, je vhodné navrhnúť minimálny – konštrukčný vývar aspoň 0,5 m hlboký. Pri významných objektoch je vhodné overiť rozmery vývaru modelovým výskumom.

Dĺžka vývaru – l_v

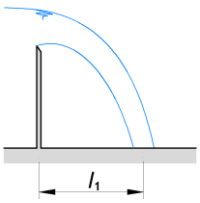
Dĺžkou vývaru rozumieme vodorovnú vzdialenosť od priepadovej hrany po koniec prahu vývaru (Obr. 4.27). *Celková dĺžka vývaru* l_v sa skladá z dĺžky l_1, ktorú môžeme definovať ako vodorovnú vzdialenosť od priepadovej hrany po miesto dopadu prepadového lúča a z aktívnej dĺžky vývaru l_2 (t. j. dĺžky, na ktorej sa vytvorí vodný skok).

Dĺžka l_1 závisí od tvaru, výšky priepadovej plochy, resp. konštrukcie a od prietoku. Ďalej sú uvedené vzťahy pre najčastejšie sa vyskytujúce prípady:

Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

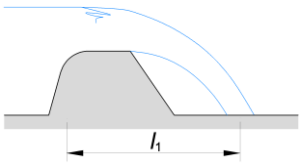
Ostrohranný priepad (je možné použiť aj pre prepad cez klapku vo vztýčenej polohe):

$$l_1 = 0{,}3h_0 + 1{,}63\sqrt{h_0(s + 0{,}335h_0)} \qquad (4.20)$$



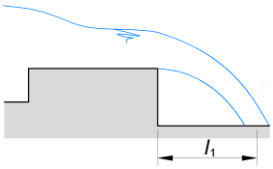
Lichobežníkový tvar priepadu:

$$l_1 = 0{,}3h_0 + 1{,}65\sqrt{h_0(s + 0{,}32h_0)} \qquad (4.21)$$



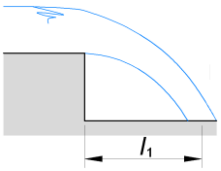
Prepad cez širokú korunu:

$$l_1 = 1{,}64\sqrt{h_0(s + 0{,}24h_0)} \qquad (4.22)$$



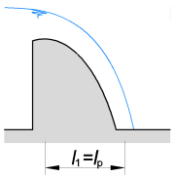
Stupeň v dne:

$$l_1 = 2\sqrt{h_k\left(s + \frac{h_k}{2}\right)} \quad \text{kde: } h_k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \qquad (4.23)$$



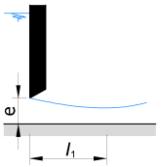
Prúdnicový tvar priepadu:

$$l_1 = l_p \qquad (4.24)$$



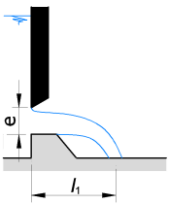
Výtok pod stavidlom (bez zvýšeného prahu):

$$l_1 = Re \quad \text{kde } R \text{ je súčiniteľ } (R = 2 \text{ až } 3) \qquad (4.25)$$



Výtok pod stavidlom (dosadajúcim na korunu zvýšeného prahu):

$$l_1 = e + 2\sqrt{(h_0 - 0{,}32e)(s + 0{,}32e)} \qquad (4.26)$$



Aktívna dĺžka vývaru l_2 je daná dĺžkou vodného skoku. Pre jej výpočet je v odbornej literatúre uvádzaných viacero vzťahov. Najčastejšie používaný vzťah tvar má tvar:

$$l_2 = nl_S \qquad (4.27)$$

kde:
n – je empirický súčiniteľ; n = 0,8 až 0,85,
l_s – dĺžka vodného skoku.

Novák [24] pre výpočet aktívnej dĺžky l_2 odporúča vzťah:

$$l_2 = K(y_2 - y_1) \tag{4.28}$$

kde:
K – je súčiniteľ závislí od pomeru $\frac{y_2}{y_1}$ – pozri Tab. 4.5.

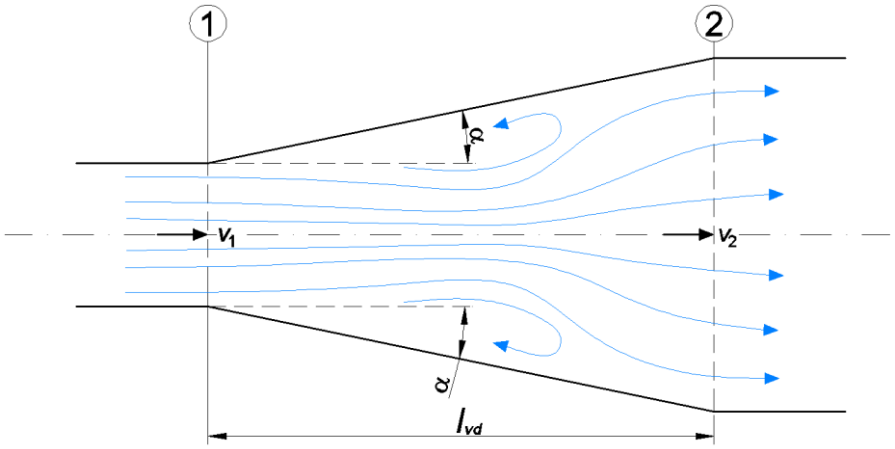
Tab. 4.5 Súčiniteľ K

y_2/y_1	3 až 4	4 až 6	6 až 20	>20
K	5,5	5,0	4,5	4,0

Vypočítané hodnoty hĺbky a dĺžky vývaru nie je vhodné pri konštrukčnom riešení hate zväčšovať, pretože toto zväčšenie má na zmenšenie hĺbky výmoľov za vývarom iba nepatrný vplyv a niekedy môže byť dokonca až negatívny.

Vypočítané hodnoty hĺbky a dĺžky vývaru nie je vhodné pri konštrukčnom riešení hate zväčšovať, pretože toto zväčšenie má na zmenšenie hĺbky výmoľov za vývarom iba nepatrný vplyv a niekedy môže byť dokonca až negatívny.

V prípade, že je šírka hate menšia ako šírka koryta pod haťou, je možné riešiť vývar ako divergentný (Obr. 4.30). V divergentnom vývare sa vytvára tzv. *priestorový vodný skok*, ktorého vzájomné hĺbky sa líšia od vzájomných hĺbok vodného skoku v prizmatickom koryte.



Obr. 4.30 Divergentný vývar – pôdorysná schéma

Podľa Kala [14] je možné dĺžku vodného skoku v divergentnom vývare so zvislými bočnými stenami vypočítať zo vzťahu:

$$l_{vd} = m\left[1{,}129\sqrt{b_1 y_1}\left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)\right] \quad \text{[m]} \tag{4.29}$$

Divergencia (rozbiehanie) vývaru nesmie byť príliš veľká, aby v ňom nevznikali bočné vírové oblasti.

kde:

m – je súčiniteľ závislý na uhle rozšírenia α a na Froudovom čísle Fr_1,
b_1 – šírka koryta v profile 1 [m],
y_1 – hĺbka vody v profile 1 [m],
v_1 – stredná rýchlosť prúdenia v profile 1 [m.s^{-1}],
v_2 – stredná rýchlosť prúdenia v profile 2 [m.s^{-1}].

Pri návrhu vývaru je nutné počítať s najnižšou polohou dna koryta pod haťou aká sa môže v budúcnosti vyskytnúť.

Pre stanovenie hodnoty m je možné použiť vzťah:

$$m = k - 0{,}31 ln Fr_1 \tag{4.30}$$

kde:

k – je bezrozmerná konštanta závislá od uhla divergencie – Tab. 4.6,
Fr_1 – Froudovo číslo uvažované v tvare:

$$Fr_1 = \frac{\beta v_1^2}{g y_1} \tag{4.31}$$

pričom $\beta \doteq 1{,}0$.

Tab. 4.6 Konštanta k

$\tan\alpha$	0,100	0,125	0,150
k	1,98	1,91	1,76

Divergencia (rozbiehanie) vývaru nesmie byť príliš veľká, aby v ňom nevznikali bočné vírové oblasti (Obr. 4.30). Pri väčšej divergencii koryta $\alpha > 8{,}5°$ môže dochádzať k nepriaznivým javom, napr. k oblúkovému zakriveniu vodného skoku v pôdoryse s nárazom na bočnú stenu koryta.

Na stabilitu vodného skoku vo vývare má podstatný vplyv predovšetkým hĺbka vody y_d v koryte pod haťou. Táto hĺbka závisí od parametrov priečneho profilu koryta pod haťou, a to: výšky dna, pozdĺžneho sklonu koryta, drsnosti dna a brehov. Po výstavbe hate môže prísť k postupnému prehlbovaniu koryta pod haťou, a tým aj poklesu dolnej vody a k zmenšovaniu hĺbky y_d (Obr. 3.10). To má za následok, že pôvodne navrhnutý vývar, v ktorom sa stabilizoval priľahlý vodný skok, sa stáva neúčinný z dôvodu zmeny typu vodného skoku na odľahlý. Odľahlý vodný skok má tendenciu „vybehnúť“ za prah vývaru a postupovať smerom po prúde, kde môže mať z titulu tvorby výmoľov devastačný účinok na koryto a ohroziť stabilitu hate aj brehového opevnenia. Tendencia vymieľania koryta pod haťou sa zväčšuje v prípade, že nad haťou dochádza k usadzovaniu splavenín a tzv. „hladná“ voda po prechode haťou ešte viac vymieľa koryto.

Pri návrhu vývaru je preto nutné počítať s najnižšou polohou dna koryta pod haťou aká sa môže v budúcnosti vyskytnúť. Presná prognóza vývoja konzumpčnej krivky koryta pod haťou je často dôležitejšia ako presné určenie rozmerov vývaru podrobnými výpočtami prípadne modelovým výskumom.

Hrúbka vývarovej dosky je dimenzovaná predovšetkým na vztlakovú silu, ale musí odolať aj dynamickému zaťaženiu prepadajúcej vody, nárazu ľadových krýh alebo iných predmetov unášaných vodou cez hať. S prihliadnutím na tieto účinky je pre výpočet hrúbky vývarovej dosky h_b možné podľa Tarajnoviča [30] použiť empirický vzťah:

$$h_b = 0{,}4\left(\frac{q}{2}\right)^{0{,}5} H^{0{,}25} \quad [\text{m}] \tag{4.32}$$

kde:

q – je špecifický prietok haťou [$m^3s^{-1}m^{-1}$],

H – maximálny rozdiel medzi hornou a dolnou vodou [m].

Podľa Dombrovského je možné použiť vzťah:

$$h_b = 0{,}15 v_1 \sqrt{h_1} \quad [\text{m}] \tag{4.33}$$

kde:

v_1 – je prierezová rýchlosť v mieste dopadu prepadajúceho lúča [ms^{-1}],

h_1 – hĺbka vody v mieste dopadu prepadajúceho lúča [m]; pričom $h_1 \approx y_1$ (t. j. prvá vzájomná hĺbka vodného skoku – Obr. 4.27).

Bližšie je problematika konštrukčného riešenia vývaru popísaná v Kap. 5.1.1.3.

4.5.3 Rozrážače a usmerňovače prúdu

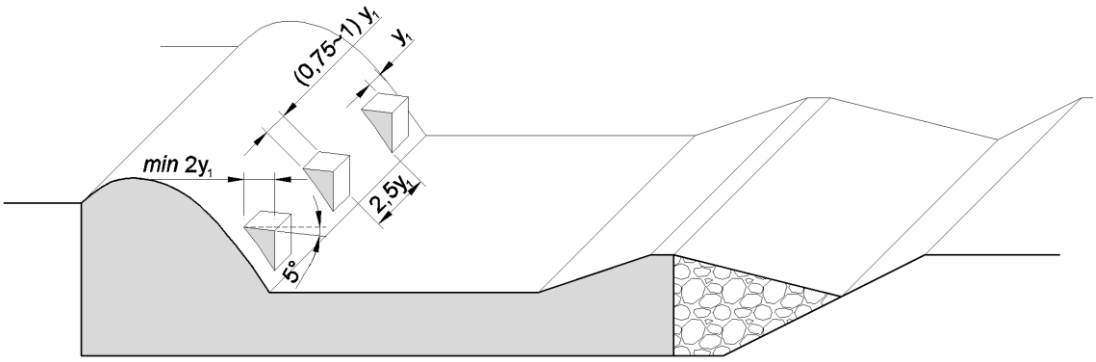
Ďalším spôsobom ako dosiahnuť účinnejšie tlmenie kinetickej energie prepadajúceho prúdu a aj zmenšenie rozmerov vývaru je použitie vhodne rozmiestnených vyčnievajúcich telies tzv. *rozrážačov*. Podľa umiestnenia ich môžeme rozdeliť na rozrážače:

- na priepadovej ploche,
- na vývarovej doske,
- na prahu vývaru.

Obr. 4.31 Realizácia rozrážačov, Texas, USA (Zdroj: cadpanacea.com)

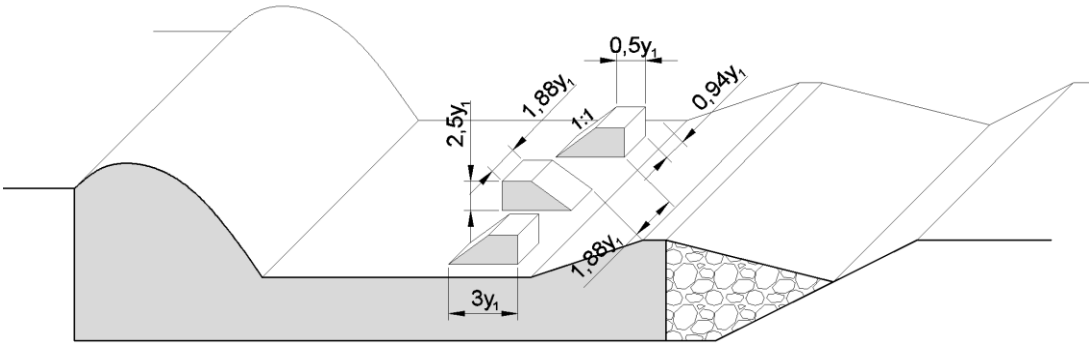
Príklad realizácie všetkých vyššie uvedených typov rozrážačov je na Obr. 4.31.

Rozrážače na priepadovej ploche alebo v mieste prechodu do vývaru rozptyľujú a prevzdušňujú prepadový lúč a súčasne ho zdvíhajú od dna (Obr. 4.32). Vyvolávajú vzájomné zrážanie prúdov a zvýšením turbulencie dochádza k účinnému tlmeniu energie. Peterka [25] odporúča na priepadoch so spádom do 15 m, kde je prúdenie charakterizované malými hodnotami Froudovho čísla (Fr = $2{,}5$ až $4{,}5$), navrhnúť najmenej 3 rozrážače s šírkou ($0{,}75$ až $1{,}0$)y_1, výškou $2y_1$, dĺžkou minimálne $2y_1$ a vzájomnou vzdialenosťou $2{,}5y_1$.



Obr. 4.32 Rozrážače na priepadovej ploche

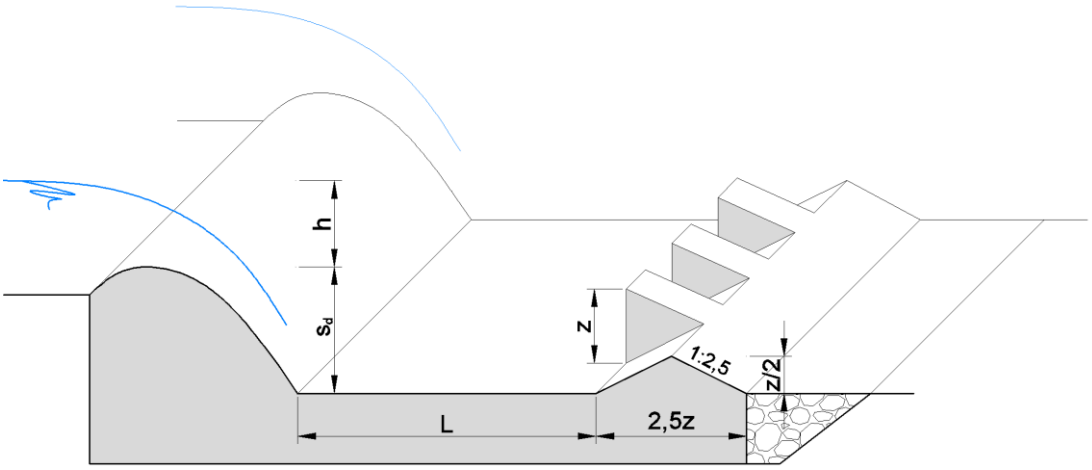
Vývarové rozrážače sa umiestňujú na dno vývaru (Obr. 4.33). Zvyšujú turbulenciu a stabilizujú vodní skok. Umožňujú skrátenie vývaru a zaisťujú jeho funkciu pri nesymetrickej manipulácii na hati a pri prietokoch väčších, než na aké bol vývar navrhnutý. Celková šírka rozrážačov by nemala presahovať 40 až 50 % šírky vývaru, pretože by mohli pôsobiť ako prah. Peterka [25] odporúča pre vývarové rozrážače šírku $1{,}88y_1$, výšku $2{,}5y_1$, dĺžku $3y_1$, sklon $1:1$ a vzájomnú vzdialenosť $1{,}88y_1$.



Obr. 4.33 Rozrážače na dne vývaru

Prahové rozrážače sa umiestňujú na prah vývaru, čím vytvárajú tzv. *ozubený prah*. Stabilizujú vodný skok vo vývare, ktorý sa v ňom „udrží“, aj v prípade, že miera vzdutia σ je menšia ako 1. Okrem toho vhodne usmerňujú prúd vody opúšťajúci vývar smerom nahor, čím sa vytvára prúdový valec, ktorý spätným prúdom prisúva splaveninový materiál k prahu vývaru.

Nesprávny návrh rozrážačov môže podstatne zhoršiť prúdové pomery pod haťou a zväčšiť výmole.



Obr. 4.34 Rozrážače na prahu vývaru

Ozubený prah na konci vývaru s Rehbockovými rozrážačmi je znázornený na (Obr. 4.34). Ich približnú výšku je možné určiť zo vzťahu:

$$z = 0{,}08h^{2/3}s_d^{1/3} \tag{4.34}$$

a ich vzdialenosť od päty vývaru zo vzťahu:

$$L = 2h + 1{,}125s_d \tag{4.35}$$

kde:

h – je prepadová výška,

s_d – výška koruny priepadu nad dnom vývaru.

Vzhľadom na to, že nesprávny návrh rozrážačov môže aj podstatne zhoršiť prúdové pomery pod haťou a zväčšiť výmole, pre všetky typy rozrážačov platí, že ich definitívne rozmery a rozmiestnenie je nutné určiť modelovým výskumom.

4.5.4 Odrazový mostík

Vytvorením pomerne nízkeho odrazového mostíka na konci priepadovej plochy hate je možné usmerniť prepadový lúč tak, aby vodný skok nevznikol pri dne, ale až v určitej výške nad dnom (Obr. 4.35). Ide o tzv. *povrchový vodný skok*, pri ktorom sa veľké množstvo energie uvoľní pri povrchu hladiny, t. j. v oblasti, kde už táto energia nemá také nepriaznivé účinky, ako v prípade, vzdutého, resp. priľahlého skoku, ktorý vzniká bližšie ku dnu koryta pod haťou.

Prietokový režim za odrazovým mostíkom závisí od pomeru hĺbky dolnej vody y_d a výške odrazového mostíka a. Podľa Rybnikáře [26] vzniká povrchový vodný skok v prípade, že výška odrazového mostíka je minimálne:

$$a_{min} = 2{,}7y_{kr} - 4{,}32y_1 \tag{4.36}$$

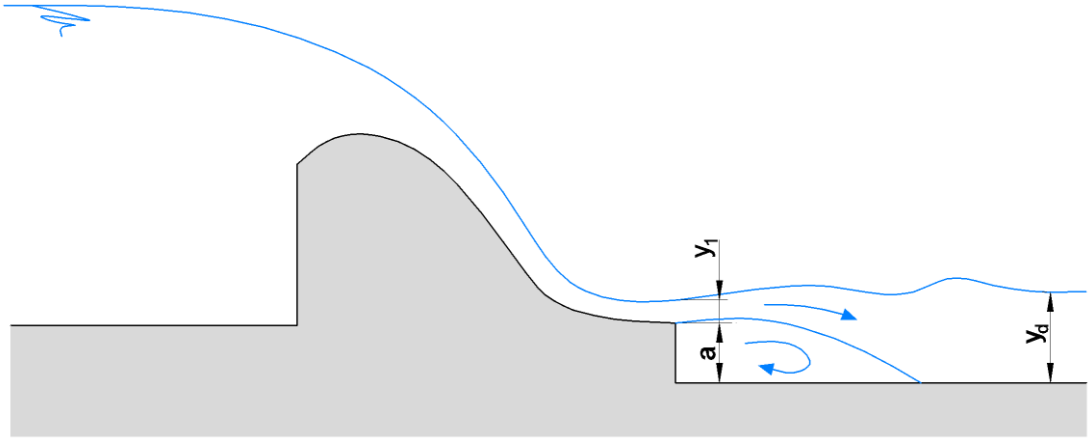
kde:

y_{kr} – je kritická hĺbka (4.37),

y_1 – hĺbka vody na konci odrazového mostíka, ktorú je možné vypočítať podľa vzťahu (4.16).

$$y_{kr} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \tag{4.37}$$

kde q je špecifický prietok haťou [$m^3s^{-1}m^{-1}$].



Obr. 4.35 Hať s priepadovou plochou ukončenou odrazovým mostíkom – prúdenie s povrchovým vodným skokom

Pri zvyšovaní hladiny dolnej vody y_d prechádza prúdenie z režimu povrchového vodného skoku do režimu tzv. *priľahlej vlny*. Pri ďalšom zvyšovaní y_d sa na prepadovom lúči nad koncom odrazového mostíka vytvorí spätný valec, vznikne tzv. *vzdutá vlna.* Tento prípad je z hľadiska disipácie (rozptýlenia) energie výhodný. Ak sa však zvyšuje y_d naďalej, dochádza k obnoveniu dnového vzdutého vodného skoku a odrazový mostík stráca svoju funkciu.

Pri použití odrazového mostíka vychádza často väčšia potrebná hĺbka vývaru. Dno vývaru je však podstatne menej namáhané, takže nemusí byť spevnené masívnou vývarovou betónovou doskou. Stačí ho zvyčajne opevniť lomovým kameňom, ktorého stredný priemer je podľa Beljaševského:

$$d = 0{,}03v_d^2 \quad [\text{m}] \tag{4.38}$$

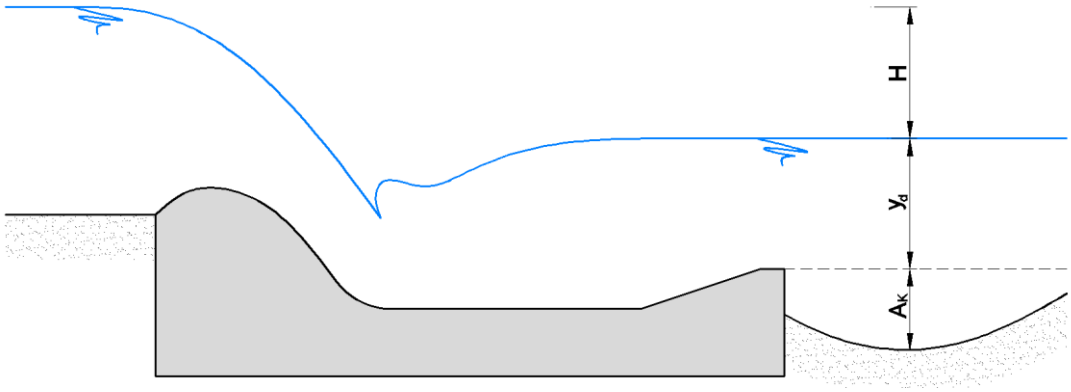
kde v_d je rýchlosť prúdenia vody pri dne [ms^{-1}].

4.5.5 Opevnenie dna za haťou

Vývar zmenšuje hĺbku výmoľu iba približne o polovicu. Jeho funkcia však spočíva v oddialení najväčšej hĺbky výmoľu do bezpečnej vzdialenosti od hate.

Voda pritekajúca z hate na neopevnené dno za prahom vývaru má ešte stále relatívne dosť energie, a preto môže vytvárať výmole, a tým ohroziť stabilitu hate.

Pravdepodobnú hĺbku výmoľa, ktorá je smerodajná pre návrh dostatočnej hĺbky základu hate, prahu vývaru, brehových krídiel a aj päty brehového opevnenia je možné určiť pomocou výskumu na modeli, metódou analógie s haťami, ktoré už sú v prevádzke, alebo použitím empirických vzťahov.



Obr. 4.36 Výmoľ za vývarom klasického typu

Pre výpočet konečnej hĺbky výmoľa A_K v nesúdržnej zemine dna toku za vývarom klasického typu (Obr. 4.36) je podľa Nováka [24] možné použiť empirický vzťah:

$$A_K = c\left[6H^{0,25}q^{0,5}\left(\frac{y_d}{d_{90}}\right)^{\frac{1}{3}} - y_d\right] \text{ [m]} \qquad (4.39)$$

kde:

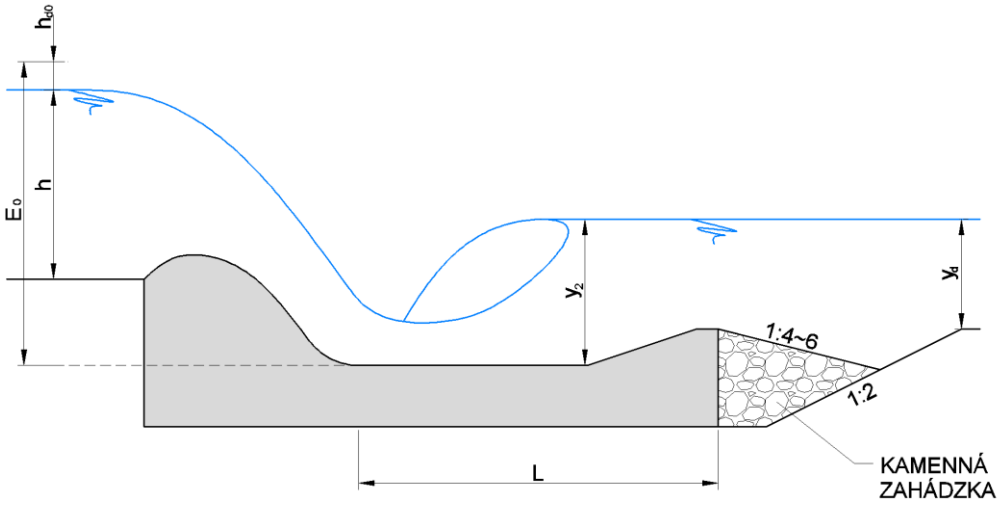
c – je $0{,}45$ až $0{,}65$ pre mieru vzdutia $\sigma = 1{,}0$ až $1{,}6$,
H – rozdiel medzi hornou a dolnou vodou [m],
q – špecifický prietok haťou [$m^3s^{-1}m^{-1}$],
y_d – hĺbka dolnej vody pri prietoku q [m],
d_{90} – 90% zrno dna koryta [mm].

Opevnenie koryta za haťou by malo byť odolné voči odplaveniu, pružné, a priepustné, aby nezvyšovalo vztlak a zároveň drsné, aby tlmilo prebytok kinetickej energie vodného prúdu.

Pri hati bez vývaru je $c = 1$. To znamená, že samotný vývar zmenšuje hĺbku výmoľu iba približne o polovicu. Jeho funkcia však spočíva v oddialení najväčšej hĺbky výmoľu do bezpečnej vzdialenosti od hate. Aby však výmole vznikajúce za podhatím neohrozili stabilitu hate, je nutné previesť opevnenie dna, tak aby dno bolo odolné voči odplaveniu, pružné, priepustné, aby nezvyšovalo vztlak a zároveň drsné, aby tlmilo prebytok kinetickej energie vodného prúdu. Tieto požiadavky plní a zároveň je pri dostatku miestneho kameňa aj ekonomicky najvýhodnejšia tzv. *kamenná zahádzka* (Obr. 4.37).

Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

V našich podmienkach býva opevnenie koryta za vývarom väčšinou krátke cca 5 až 10 m.



Obr. 4.37 Opevnenie dna koryta za vývarom kamennou zahádzkou

Stredný priemer kameňov zahádzky d v metroch je možné približne určiť zo vzťahu Davlovského, a to:

- pre $L/y_2 = 5$ až 10

$$\frac{y_2}{\sqrt{qd}} = 0{,}24\sqrt{\left(\frac{L}{y_2}+5{,}4\right)^2 - 12{,}7\left(\frac{E_0}{y_{kr}}-3\right)^2} - 0{,}22 \quad [\text{m}] \tag{4.40}$$

- pre $L/y_2 = 10$ až 15

$$\frac{y_2}{\sqrt{qd}} = 0{,}10\sqrt{\left(\frac{L}{y_2}+11{,}5\right)^2 - 25\left(\frac{E_0}{y_{kr}}-3\right)^2} - 0{,}22 \quad [\text{m}] \tag{4.41}$$

kde:

y_2 – je druhá vzájomná hĺbka vodného skoku [m],
L – dĺžka betónovej dosky [m],
E_0 – výška čiary energie pre haťou [m],
y_{kr} – kritická hĺbka [m] (4.37).

Tieto vzorce platia pre E_0/y_{kr} v rozmedzí $3{,}2$ až $5{,}4$. Minimálny priemer kameňa na zahádzku sa navrhuje $0{,}3$ m.

V našich podmienkach býva opevnenie koryta za vývarom väčšinou krátke, cca 5 až 10 m. V prípade, že je dno toku tvorené jemnými zeminami (napr. spraše), je potrebné opevniť dno koryta za vývarom na väčšej dĺžke. Podľa Čertousova [4] je navrhovaná dĺžka opevnenie koryta:

$$L_{OK} = (10 \text{ až } 13)y_d \quad [\text{m}] \tag{4.42}$$

Bližšie je problematika konštrukčného riešenia opevnenia dna za haťou popísaná v Kap.5.3.

Kontrolné otázky

Čo je vodný skok a aké sú jeho účinky na haťˇ?

Čo je účelom vývaru a aké sú jeho základné parametre?

Zodpovedá návrhový prietok pre dimenzovanie vývaru maximálnemu prietoku cez haťˇ?

Aká je maximálna divergencia vývaru?

Aké iné spôsoby tlmenia energie v podhatí je možné realizovať?

Kde môžu byť umiestnené rozrážače v podhatí?

Akým spôsobom tlmí energiu v podhatí odrazový mostík?

Aký je vplyv vývaru na tvorbu výmoľov za prahom vývaru hate?

Aké vlastnosti musí mať opevnenie dna koryta pod haťou?

5 Konštrukčný návrh stavebných častí hate

Medzi základné stavebné časti hate patrí:

- spodná stavba hate, vývar
- opevnenie dna a brehov pred a za haťou,
- protipriesakové prvky,
- deliace piliere,
- brehové piliere a krídla.

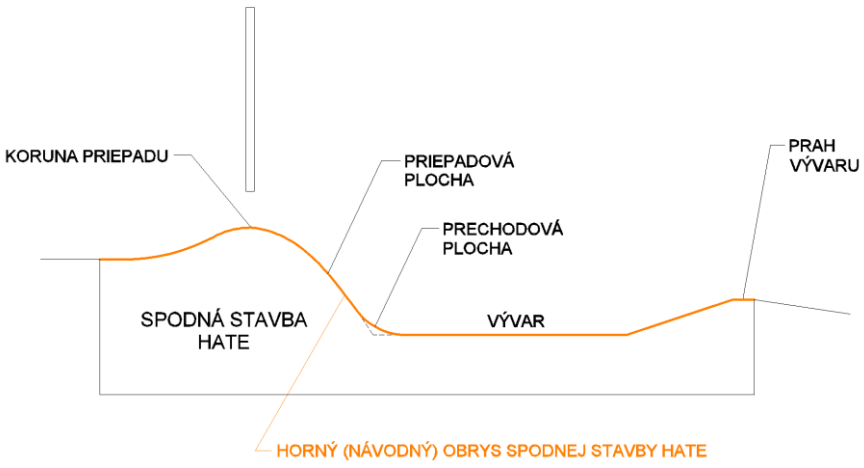
Zásadný vplyv na konštrukčné riešenie hate má to, či ide o hať *pevnú* alebo *pohyblivú* (Kap. 3.4).

5.1 Spodná stavba hate, vývar

Tvar a veľkosť spodnej stavby hate závisí od viacerých faktorov, pričom treba navrhnúť jej *horný (návodný) obrys* (Kap. 5.1.1) a *dolný obrys hate* (Kap. 5.1.2).

5.1.1 Horný (návodný) obrys spodnej stavby hate

Tvar horného (návodného) obrysu spodnej stavby hate (Obr. 5.1) závisí najmä od:
- hydraulických parametrov prepadového, resp. výtokového lúča a vodného skoku,
- použitého materiálu spodnej stavby,
- typu hate.



Obr. 5.1 Schematické znázornenie horného (návodného) obrysu spodnej stavby hate

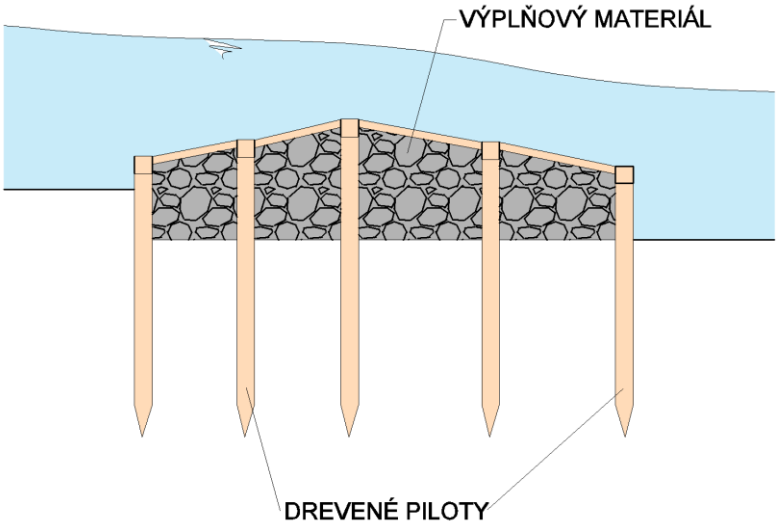
Tvar horného obrysu je prispôsobený predovšetkým požiadavke ***plynulého prevedenia prietoku***; pričom rozhodujúci je najmä tvar koruny priepadu a priepadovej plochy. Parametre vývaru závisia najmä od **parametrov vodného skoku** (Kap. 4.5.1).

Tvarom horného obrysu spodnej stavby je možné výrazne ovplyvniť hodnotu prepadového súčiniteľa.

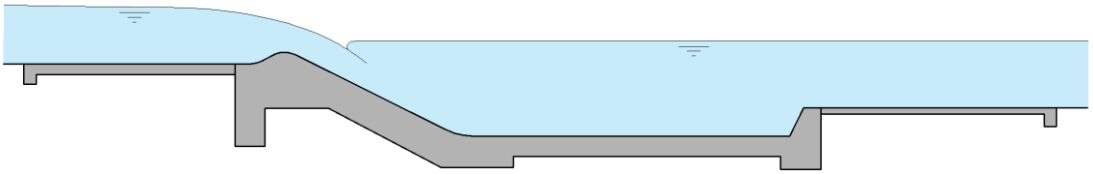
Tvarom horného obrysu spodnej stavby je možné výrazne ovplyvniť hodnotu prepadového súčiniteľa μ_p (Kap. 4.3.1) a pri rovnakej prepadovej výške vody cez hať dosiahnuť čo najmenšiu efektívnu šírka hate a tým znížiť náklady na výstavbu. Najmä v prípade pevných hatí je ideálnym tvarom priepadovej plochy – tzv. *prúdnicový tvar* (Obr. 5.2).

Obr. 5.2 Pevná hať s prúdnicovou priepadovou plochou (Zdroj: ČVUT Praha, © P. Valenta)

Tvar horného obrysu hatí bol v minulosti determinovaný najmä konštrukčnými možnosťami a použitým materiálom (Obr. 5.3). Až použitie betónu umožnilo navrhovať a konštruovať vhodne zaoblené priepadové plochy (Obr. 5.4).



Obr. 5.3 Drevená pevná hať



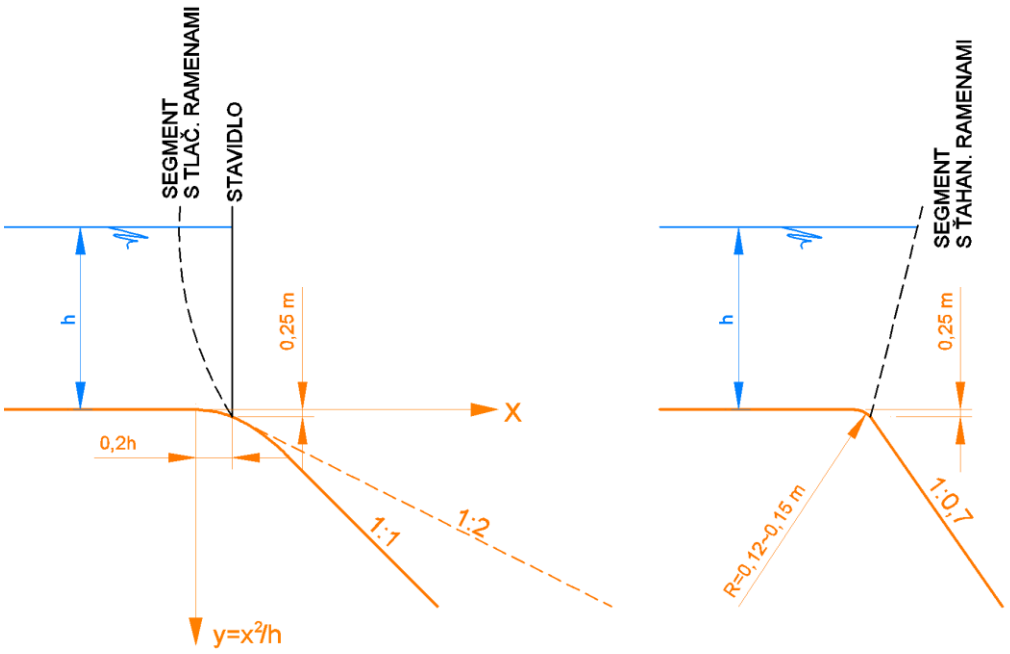
Obr. 5.4 Nízka betónová pevná hať s vývarom

Pri pohyblivých hatiach býva ich tvar prispôsobený použitej hradiacej konštrukcii, prípadne jej ovládaniu.

5.1.1.1 Koruna priepadu a priepadová plocha

Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy závisí aj od toho, či ide o hať pevnú, alebo pohyblivú. Pri pohyblivých hatiach býva ich tvar prispôsobený použitej hradiacej konštrukcii, prípadne jej ovládaniu.

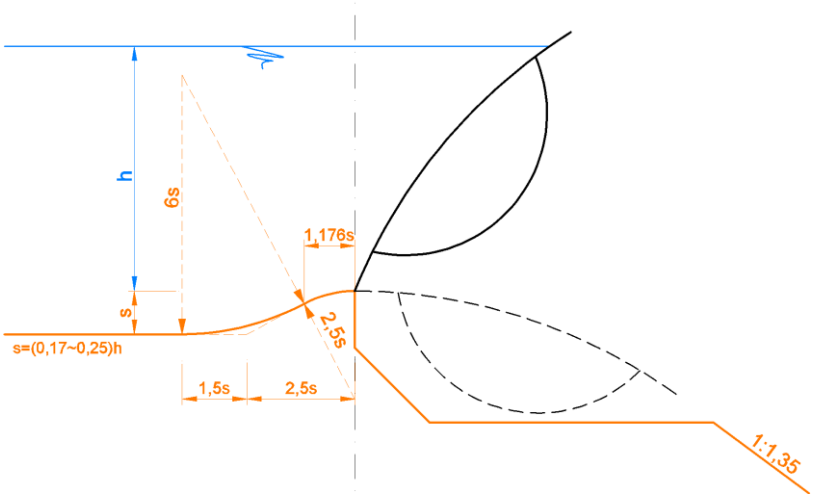
Spodná stavba môže byť riešená bez prevýšenia nad úrovňou predhatia, resp. dna haťovej zdrže. Do vývaru prechádza plochou v tvare paraboly $y = x^2/h$ a pokračuje šikmými plochami v sklone podľa typu haťového uzáveru – pri segmente s tlačenými ramenami v sklone $1:2$, pri stavidle v sklone $1:1$ a pri segmente s ťahanými ramenami nadväzuje valcovou plochou s polomerom $R = 0{,}12$ až $0{,}15$ m a pokračuje šikmou plochou $1:0{,}7$ (Obr. 5.5). Aby sa zabránilo vzniku podtlakov je vhodné umiestniť dosadaciu hranu zdvižných uzáverov až za vrchol zaobleného prahu a to do vzdialenosti približne $0{,}2h$ v smere toku a $0{,}25$ m pod vrchol. Dôvodom je to, že výtokový lúč má tendenciu sa odtrhnúť od priepadovej plochy a spôsobovať vznik nepriaznivých podtlakov prípadne chvenie konštrukcie. V prípade, že je spodná hrana uzáveru trvale vo veľkej hĺbke pod hladinou dolnej vody, je možné umiestniť dosadací prah zdvižného uzáveru aj na vrchol zaobleného prahu.



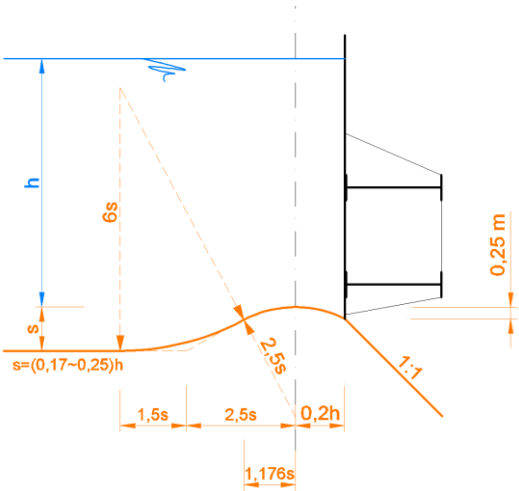
Obr. 5.5 Tvar priepadovej plochy za stavidlom, segmentom s tlačenými a segmentom s ťahanými ramenami bez prevýšenia nad dnom predhatia

Najmä v prípade pohyblivých uzáverov je však výhodné navrhnúť horný obrys prevýšený nad úrovňou predhatia, a tak zmenšiť výšku uzáveru, a tým aj náklady na jeho zhotovenie. V súčasnosti sa pre nízke hate navrhuje najmä plynule zaoblený Jamborov prah. Konštrukčné riešenia Jamborovho prah je na Obr. 4.7.

Samotný tvar priepadovej plochy je prispôsobený výtokovému alebo prepadovému lúču vody, ktorý závisí od typu uzáveru (**stavidlo, segment** – výtok, **klapka** – prepad). Keďže sa hydraulické parametre prúdenia vody líšia v závislosti od druhu uzáveru, líšia sa aj tvary priepadových plôch. Osadenie pohyblivého uzáveru na zaoblený prah vedie k tomu, že spodná stavba musí byť vhodne upravená, takže už nemá klasický tvar priepadovej plochy. V prípade umiestnenia klapkového uzáveru na Jamborovom prahu (Obr. 5.6) sa ponechá jeho časť zaoblená až po vrchol, kde na ňu plynule nadväzuje zaoblená hradiaca stena dutej klapky. Na plochu klapky v sklopenej polohe potom nadväzuje priepadová plocha v sklone $1:1{,}35$. Ďalšie príklady úprav horného obrysu spodnej stavby pre najčastejšie používané uzávery sú na Obr. 5.7 až Obr. 5.9. Pre vysoké haťové stupne je vhodný prúdnicový tvar priepadovej plochy (Obr. 5.10, Obr. 5.11, Obr. 8.67, Obr. 8.90).

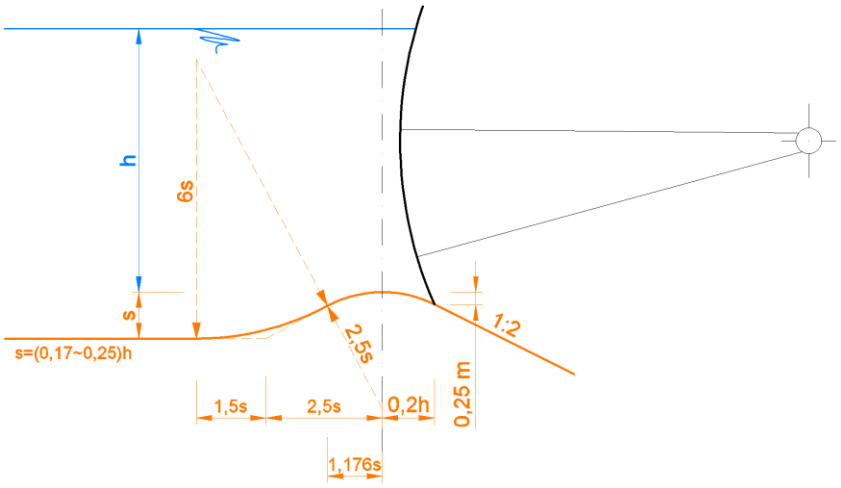


Obr. 5.6 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri umiestnení klapkového uzáveru na Jamborovom prahu

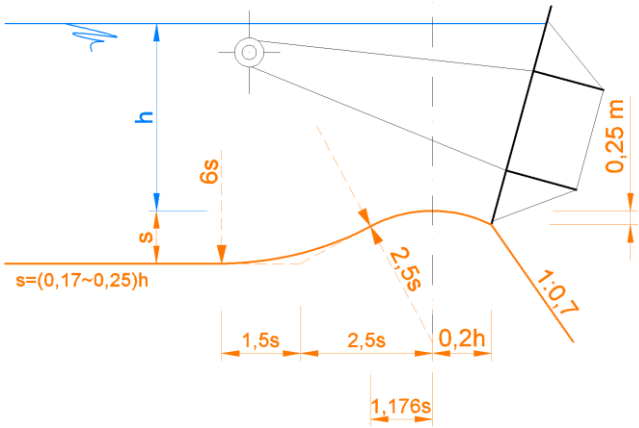


Obr. 5.7 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri umiestnení stavidla na Jamborovom prahu

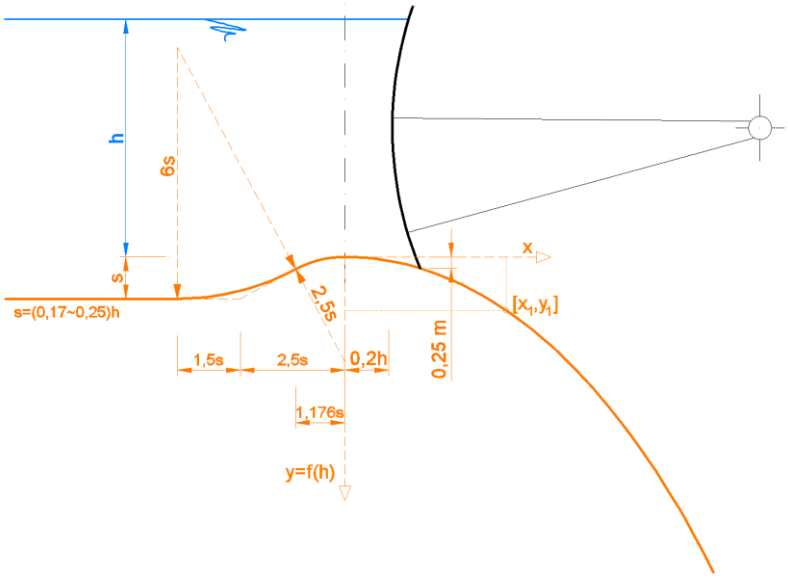
Pre vysoké haťové stupne je vhodný prúdnicový tvar priepadovej plochy.



Obr. 5.8 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri segmente s tlačenými ramenami



Obr. 5.9 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri segmente s ťahanými ramenami



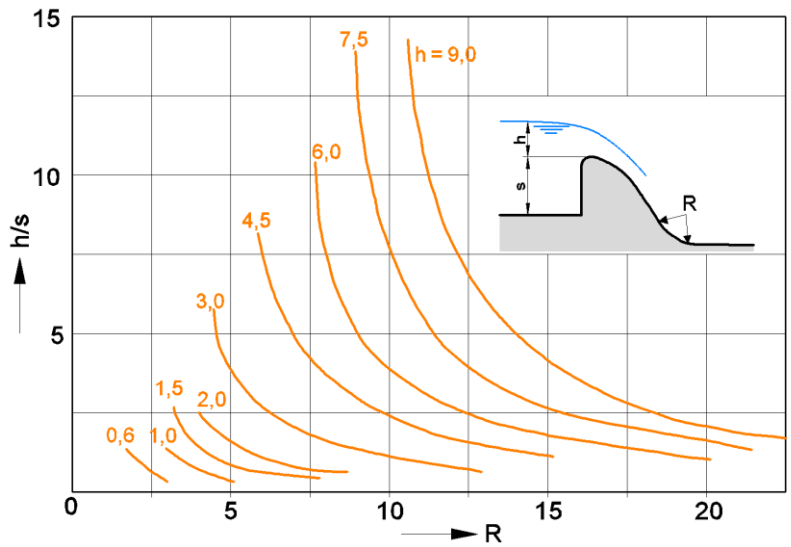
Obr. 5.10 Vysoký stupeň s prúdnicovou priepadovou plochou za segmentovým uzáverom

Obr. 5.11 Vodné dielo Hněvkovice na Vltave (ČR): vysoký stupeň s prúdnicovou priepadovou plochou za segmentovým uzáverom (Zdroj: konstrukce.cz)

5.1.1.2 Prechod medzi priepadovou plochou a vývarom

Prechod medzi priepadovou plochou a vývarom sa navrhuje za účelom plynulého prevedenia prietoku cez horný obrys spodnej stavby hate.

Na zabezpečenie plynulého prevedenia prietoku cez horný obrys spodnej stavby hate je vhodné navrhnúť plynulý prechod medzi priepadovou plochou a vývarom. Polomer prechodovej valcovej plochy medzi priepadovou plochou a vývarom je možné stanoviť z diagramu na Obr. 5.12.



Obr. 5.12 Diagram určenia polomeru prechodovej plochy (R) medzi priepadovou plochou a vývarom

Pri vyšších priepadoch sa medzi prúdnicovú priepadovú plochu a prechodovú valcovú plochu vkladá rovinná plocha, ktorá je dotyčnicou k priepadovej ploche. Pri niektorých hatiach sa priepadová plocha nenapojuje až na dno vývaru, ale sa ukončí buď zvislou stenou, alebo plynule vytvoreným odrazovým mostíkom (Obr. 4.35).

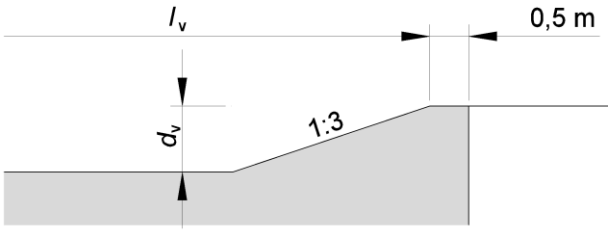
5.1.1.3 Vývar

Prehĺbený vývar slúži na utlmenie vodného prúdu prepadajúceho cez hať.

Prehĺbený vývar slúži na utlmenie vodného prúdu prepadajúceho cez hať. Jeho základné rozmery, **hĺbku** – d_v a **dĺžku** – l_v je možné stanoviť pomocou hydrotechnických výpočtov v zmysle Kap. 4.5.2.

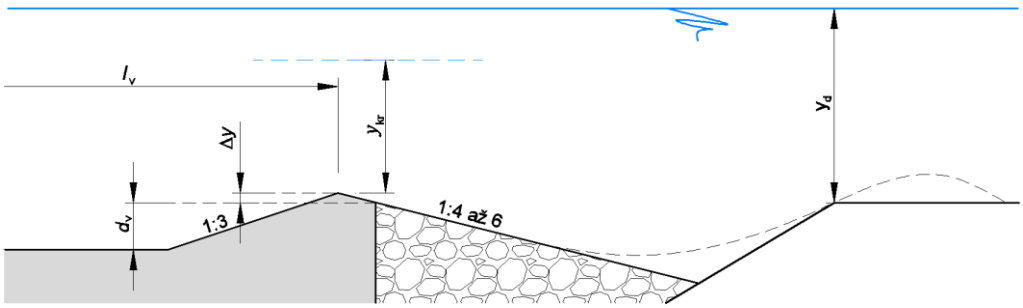
Výskum preukázal, že z hľadiska intenzity tvorby výmoľov, je výhodné prah mierne navýšiť nad úroveň dna pod haťou.

Dno vývaru sa navrhuje vodorovné, ukončené *prahom*. Napriek tomu, že samotný vývar nedokáže zabrániť tvorbe výmoľov, tvarom vývarového prahu je možné do značnej miery ovplyvniť veľkosť výmoľov. Prah stabilizuje prúdenie, zvyšuje účinnosť vývaru a jeho konštrukčné usporiadanie má vplyv na tvorbu výmoľov (zdvíha prúdenie od dna koryta a vytvára spätný prúd, ktorý spôsobuje transport a hromadenie materiálu hneď za prahom, a tým znižuje intenzitu tvorby výmoľov). Na základe výsledkov výskumu Nováka [24] sa odporúča navrhovať šikmý sklon prahu vývaru v sklone $1:3$ (Obr. 5.13). Vodorovná časť konca prahu má byť čo najkratšia (cca $0{,}5$ m), a je daná iba konštrukčnými požiadavkami (napr. osadenie provizórneho hradenia proti dolnej vode).



Obr. 5.13 Konštrukčné usporiadanie šikmého prahu vývaru

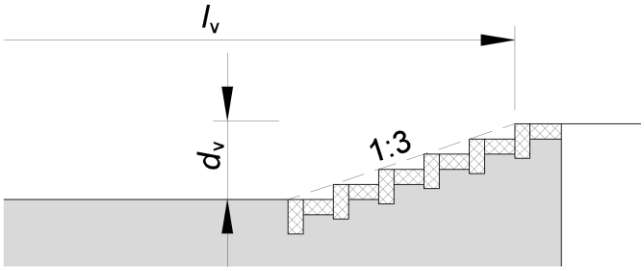
Výskum preukázal, že z hľadiska intenzity tvorby výmoľov, je výhodné prah mierne navýšiť o výšku Δy nad úroveň dna pod haťou a jeho poprúdnu časť navrhnúť v sklone $1:4$ až 6. Hĺbka vody nad zvýšeným prahom však musí byť väčšia než kritická hĺbka y_{kr} (4.37). Podľa Kolář a kol. [16] má byť výška tzv. *strechového prahu* nad dnom $\Delta y < 0{,}7 d_v$, resp. $\Delta y < 0{,}17 y_d$. Na prah potom nadväzuje ťažká kamenná zahádzka v sklone, ktorý vystihuje tvar výmoľu, t. j. $1:4$ až 6 (Obr. 5.14). V pôdoryse sa prah navrhuje priamy alebo na oboch stranách v dĺžke $1/5$ šírky vývaru zalomený o $20°$ až $30°$ (Obr. 5.56).



Obr. 5.14 Konštrukčné usporiadanie prahu strechového tvaru

Stupňovitý prah vývaru sa navrhuje iba na tokoch bez chodu splavenín.

Stupňovitý prah vývaru v sklone $1:3$ (Obr. 5.15 a Obr. 5.16) sa navrhuje iba na tokoch bez chodu splavenín. Výmole za takýmto typom prahu sú o niečo menšie, ale rozdiely sa zmenšujú s trvaním prietoku a zväčšovaním hĺbky y_d. Vzhľadom na to, že sa stupne prahu spravidla obkladajú žulovými kvádrami, je stupňovitý prah nákladnejší. Napriek tomu sa jeho hrany ľahko poškodzujú nárazmi plávajúcich predmetov a ľadových krýh.



Obr. 5.15 Konštrukčné usporiadanie stupňovitého prahu vývaru

Obr. 5.16 Stupňovitý prah vývaru hate Smiřice na rieke Labe, ČR (Zdroj: smirice.eu, © Ing. Plška)

Vývarová doska sa navrhuje väčšinou z prostého betónu a jej hrúbka závisí od rozdielu hladín nad a pod haťou a na geologických podmienkach podložia.

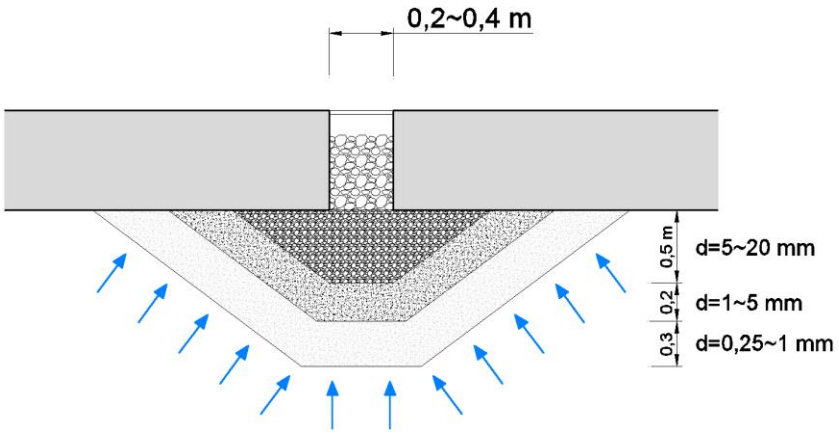
Vývarová doska sa navrhuje väčšinou z prostého, resp. veľmi málo armovaného betónu. Od spodnej stavby je obvykle oddelená dilatačnou škárou a ďalšími dilatačnými škárami po 10 až 30 m je delená na jednotlivé bloky (Kap. 5.7).

Hrúbka vývarovej dosky závisí od rozdielu hladín nad a pod haťou a na geologických podmienkach podložia. Pre predbežný návrh jej hrúbky sa používajú rôzne empirické vzťahy (Kap. 4.5.2). Pri zakladaní na priepustnom podloží býva hrúbka obvykle 2 až 5 m. V prípade, že je vývarová doska zakladaná na skalnom podloží, navrhuje sa obyčajne cca 1 m hrubá a ukotvená do podložia. V prípade, že je dno v podhatí skalnaté a priepadová plocha je vytvorená v tvare odrazového mostíka (Kap. 4.5.4), vývarová doska sa nenavrhuje.

Pre odľahčenie vztlaku a prípadné zmenšenie hrúbky vývarovej dosky sa v nej môžu navrhnúť šachovnicovo rozmiestnené drenážne otvory.

Pre odľahčenie vztlaku a prípadné zmenšenie hrúbky vývarovej dosky sa v nej môžu navrhnúť šachovnicovo rozmiestnené *drenážne otvory* vyplnené kameňom, poprípade prekryté kovovou mriežkou. Drenážne otvory sa navrhujú s priemerom 0,2 a 0,4 m v osových vzdialenostiach 2 až 5 m. Proti vyplachovaniu jemných zŕn zo základovej zeminy pod vývarom cez drenážne otvory (tzv. *sufózii*) sa navrhuje tzv. *obrátený filter*, ktorý sa navrhuje zvlášť pod každým drenážnym otvorom (Obr. 5.17), resp. v „jednom kuse“ pod celou vývarovou doskou (Obr. 5.32). Účinné zníženie vztlaku pod spodnou stavbou hate pomocou drénov si vyžaduje trvalú a bezporuchovú funkciu drénov, ináč hrozí strata stability hate. Preto sa k takémuto riešeniu pristupuje iba výnimočne.

Pre účinnejšie tlmenie kinetickej energie vo vývare je možné použiť rozrážače.



Obr. 5.17 Drenážny otvor vývarovej dosky s 3-vrstvovým obráteným filtrom zabraňujúci sufózii jemných častíc z podložia hate plynulým zvyšovaním rýchlosti prúdenia vody do drenážneho otvoru

Pre účinnejšie tlmenie kinetickej energie prepadajúceho prúdu a prípadné zmenšenie rozmerov vývaru je možné použiť *rozrážače* (Kap. 4.5.3). Tvar, rozmery a rozmiestnenie rozrážačov je nutné určiť modelovým výskumom.

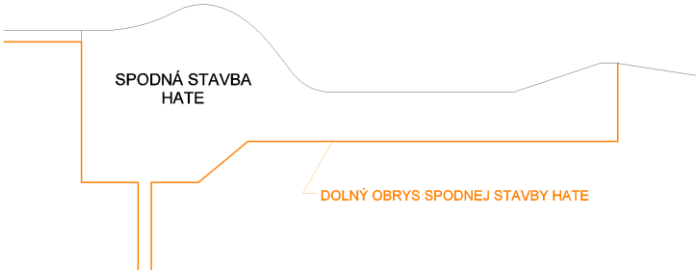
Vývar je nutné navrhnúť tak, aby bolo možné vykonať jeho opravy. K tomu je potrebné, aby bolo možné vodu z vývaru odčerpať. Preto sa v každom haťovom poli navrhuje malá šachta pre sací koš čerpadla s rozmermi cca 0,4 x 0,4 m a s minimálnou hĺbkou 0,5 m. Dno vývaru musí mať smerom k tejto šachte mierny sklon.

Tvar dolného obrysu spodnej stavby hate závisí predovšetkým od pomerov zakladania.

Napriek tomu, že základ hate nie je typizovanou konštrukciu, je možné stanoviť niektoré všeobecné zásady zakladania pre rôzne typické podmienky.

5.1.2 Dolný obrys spodnej stavby hate

Pod pojmom dolný obrys spodnej stavby hate rozumieme najnižšie položenú časť pevnej spodnej stavby, ktorá zahrňuje základovú škáru na podloží vrátane prípadného zazubenia, vodorovných tesniacich prvkov (tesniaci koberec) a zvislých tesniacich prvkov (podzemná betónová stena, injekčná clona a pod.) – Obr. 5.18.



Obr. 5.18 Schematické znázornenie dolného obrysu spodnej stavby hate

Tvar dolného obrysu spodnej stavby hate závisí predovšetkým od pomerov zakladania, t. j. od geologického zloženia a vlastnostiach podložia.

Za najvhodnejšie podmienky pre zakladanie sa považujú zdravé skalné podložie (nerozpukané vyvreliny – žula, rula, granodiorit a pod.) v malej hĺbke pod povrchom terénu v mieste výstavby. Za vhodné podmienky sa považujú únosné nepriepustné zeminy dostatočnej mocnosti. Za nevhodné podmienky sa považujú priepustné neúnosné zeminy a za úplne nevhodné podmienky materiály, ktoré menia svoje vlastnosti so stupňom nasýtenia vodou (tekuté piesky, íly s vysokou plasticitou).

Je zrejmé, že vhodné základové podmienky sa nevyskytujú vždy a preto je nutné zakladať hať aj v menej vhodných podmienkach. V takýchto prípadoch sa treba zamerať na tieto základné problémy, a to:

1. **utesniť podložie** pod haťou, tak aby nedochádzalo k stratám vody z haťovej zdrže.
2. **predĺžiť filtračnú dráhu vody** prostredníctvom predĺženia spodného (podzemného) obrysu hate, a tak znížiť filtračné rýchlosti na bezpečnú hodnotu, pri ktorých už nedochádza k sufózii (vyplavovaniu jemných častíc z podložia) a následnej **deštrukcii podložia**.
3. **upraviť základ hate** tak, aby vztlak pôsobiaci na spodnú časť haťovej konštrukcie (závislý najmä od výšky vzdutia) neohrozil stabilitu hate, a to pri akomkoľvek zaťažovacom stave, ktorý môže počas výstavby, resp. prevádzky hate nastať (bližšie v Kap. 6.1.4).

Súbor všetkých konštrukčných prvkov, ktoré slúžia na utesnenie podložia, zníženie filtračných rýchlostí a na zmenšenie vztlaku na spodnú časť hate tvoria súčasť základu hate. V prípade, že je hať založené iba v otvorenej stavebnej jame hovoríme o tzv. *plošnom základe*. V prípade, že je hať založená napr. na studniach, podzemných stenách, prípadne kesónoch, hovoríme o tzv. *hĺbkovom základe*.

Základ hate nie je typizovanou konštrukciu, a je nutné ho navrhnúť vždy podľa individuálnych podmienok. Napriek tomu, je však možné stanoviť niektoré všeobecné zásady zakladania pre rôzne typické podmienky.

Ak je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke menšej ako 5 m, zakladá sa celé pevné teleso hate na nepriepustné podložie.

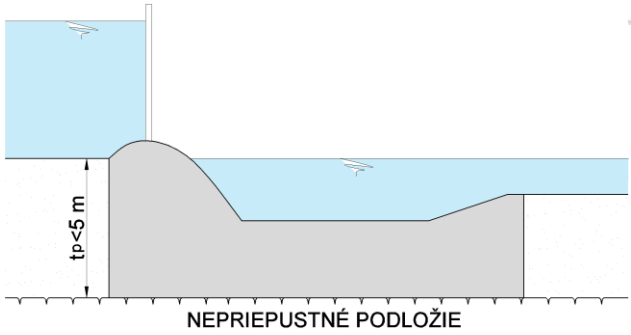
5.1.2.1 Charakteristické typy zakladania hate

Spôsob vytvorenia základu je možné rozdeliť na dve charakteristické skupiny:

- založenie priamo na únosnom a (alebo) nepriepustnom podloží nachádzajúcom sa v malej hĺbke pod povrchom terénu,
- založenie na hlbokom priepustnom podloží.

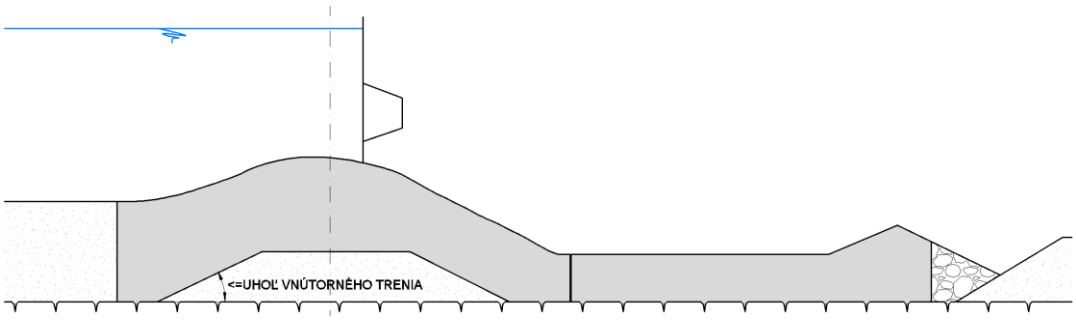
Tvar spodného obrysu hate sa prispôsobuje tomu, v akej hĺbke sa pod povrchom terénu nachádza únosné skalné a (alebo) nepriepustné podložie.

V prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke menšej ako 5 m, s výnimkou veľmi malých spádov, zakladá sa celé pevné teleso hate na nepriepustné podložie (Obr. 5.19).



Obr. 5.19 Charakteristické zakladanie hate v prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke do 5 m – schéma

Základová škára by mala byť navrhnutá čo najjednoduchšia (ideálne vodorovná), umožňujúca čo najefektívnejšie nasadenie stavebných mechanizmov. Avšak v prípade, že je pri hatiach s nízkym spádom „zdravé“ nerozpukané skalné podložie vo väčšej hĺbke, nie je z ekonomického hľadiska vhodné navrhovať základovú škáru po celej jej dĺžke priamo na skalnom podloží, ale časť škáry môže byť navrhnutá aj na menej únosnom priepustnom podloží a k utesneniu podložia sa použije ozub (Obr. 5.20) alebo krátka zvislá tesniaca stena. Sklon ozubov je vhodné navrhnúť v uhle vnútorného trenia základovej zeminy nad skalným podložím.

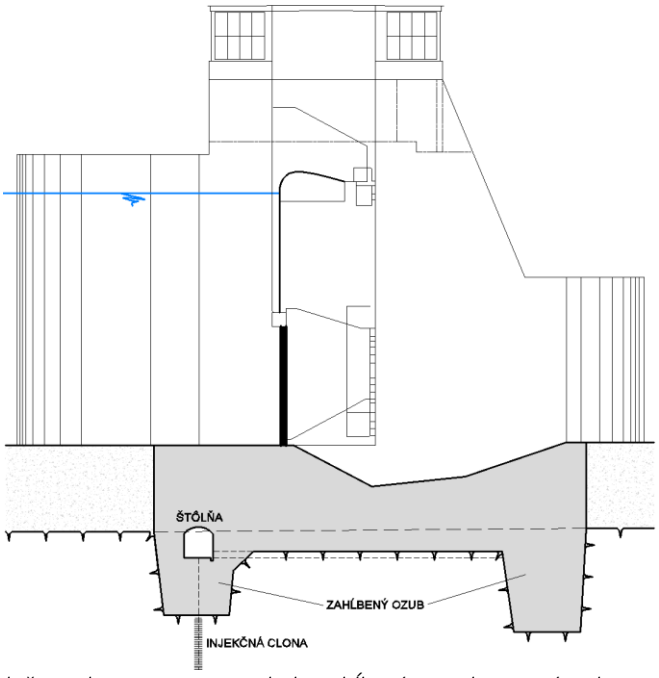


Obr. 5.20 Príklad založenia hate na ozuboch

V prípade hatí s veľkým spádom sa na návodnej a často aj na vzdušnej strane navrhuje tzv. *zazubenie* základovej škáry, ktoré zvyšuje spolupôsobenie hate a podložia a zabezpečenosť proti posunutiu následkom pôsobenia hydrostatického tlaku (Obr. 5.21). Zahĺbenie ozubu sa

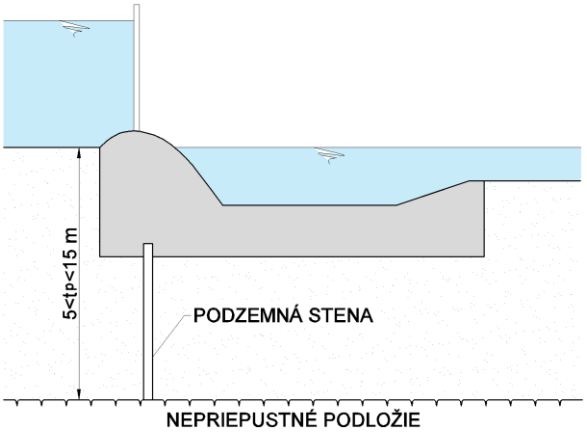
Ak je skalné podložie v hĺbke od 5 do 15 m, tak sa po tieto vrstvy zabudujú podzemné steny.

navrhuje aj v prípade, že podložie tvorí rozpukaná skala. V takomto prípade je možné znížiť priepustnosť podložia pod návodným ozubom aj injekčnou clonou. Na zmenšenie vztlaku na základovú škáru vyvolaného veľkým spádom sa v základovej škáre navrhuje drenážny systém, ktorý vyúsťuje do vodorovnej kontrolnej štôlne alebo drenážne otvory vystupujú cez vývarovú dosku priamo do vývaru.



Obr. 5.21 Príklad založenia hate priamo na skale zahĺbením ozubu na návodnej aj vzdušnej strane

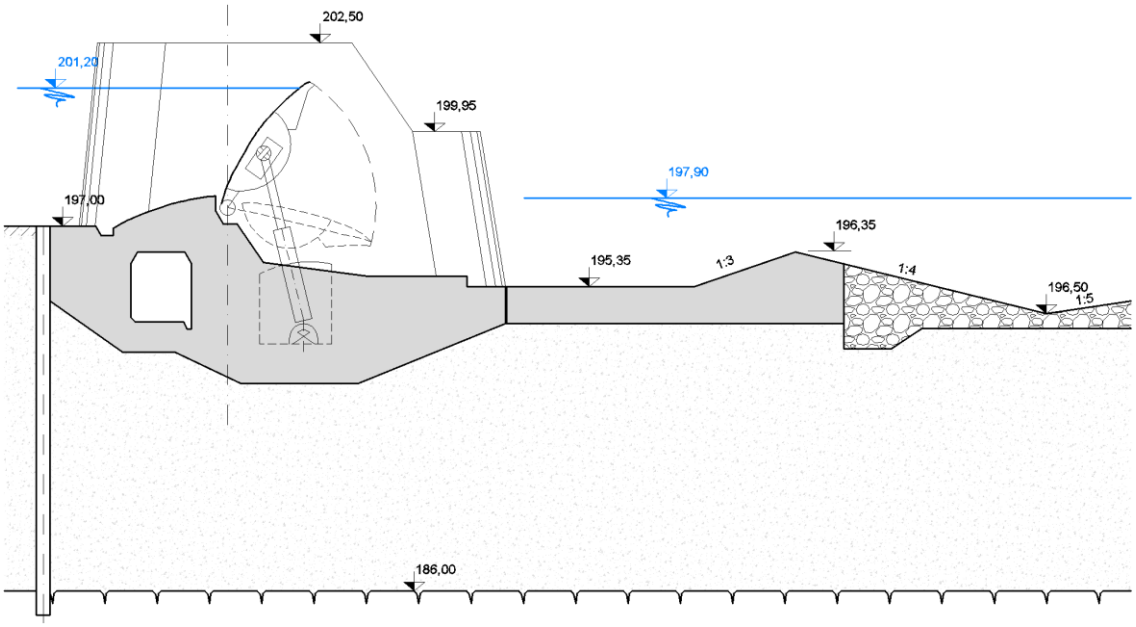
Ak je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke od 5 do 15 m, t. j. ak sú únosné či nepriepustné vrstvy v reálnom dosahu pod základovou škárou, tak sa po tieto vrstvy zabudujú podzemné steny (Obr. 5.22), pretože budovať betónovú spodnú stavbu hate do takýchto hĺbok je technologicky náročné a nehospodárne.



Obr. 5.22 Charakteristické zakladanie hate v prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke od 5 do 15 m – schéma

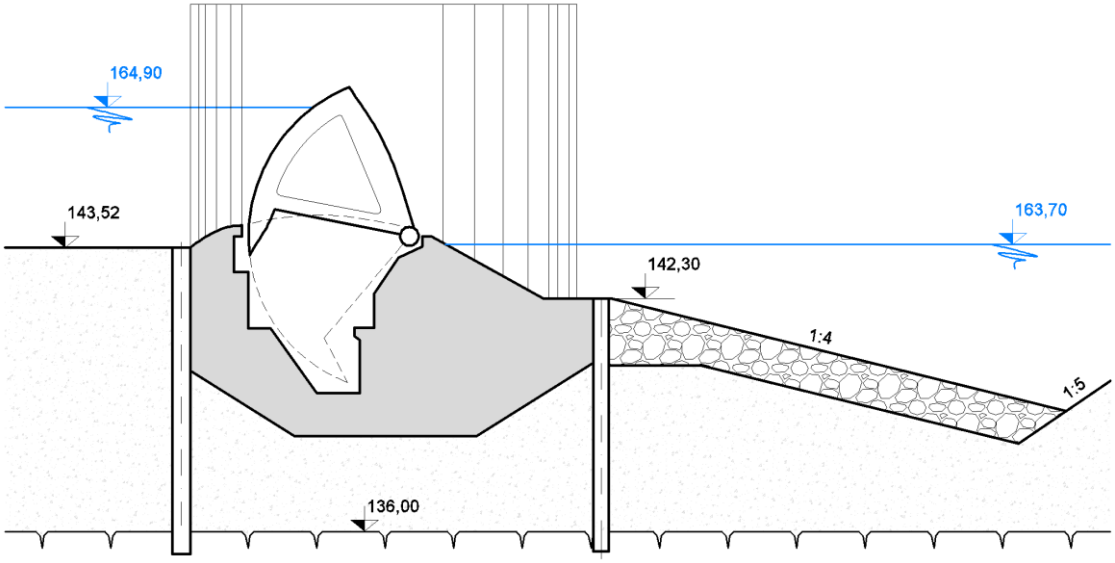
Zaviazaním podzemnej steny (injekčná clona, štetovnicová stena, podzemná betónová clona a pod.) do nepriepustného podložia dostatočnej hrúbky dochádza k úplnému utesnenie

podložia. Typ podzemnej steny je daný geologickou stavbou a vlastnosťami priepustnej vrstvy, ekonomickými a bezpečnostnými požiadavkami. V prípade hlinito-piesčitého alebo štrkopieskového podložia je najekonomickejším riešením *štetovnicová oceľová stena*. Štetovnicové steny je možné zabaraniť do hĺbky cca 10 m (Obr. 5.23), ale v priaznivých geologických podmienkach (napr. jemné piesky) až do hĺbky 20 m.



Obr. 5.23 Príklad úplného utesnenia podložia hate štetovnicovou stenou na návodnej strane – klapková hať na Vodnom diele Týnec nad Labem, ČR

Podzemnú stenu je možné navrhnúť nie len na návodnej, ale aj na vzdušnej strane, najmä v prípade, ak za haťou očakávame tvorbu hlbokých výmoľov (Obr. 5.24).



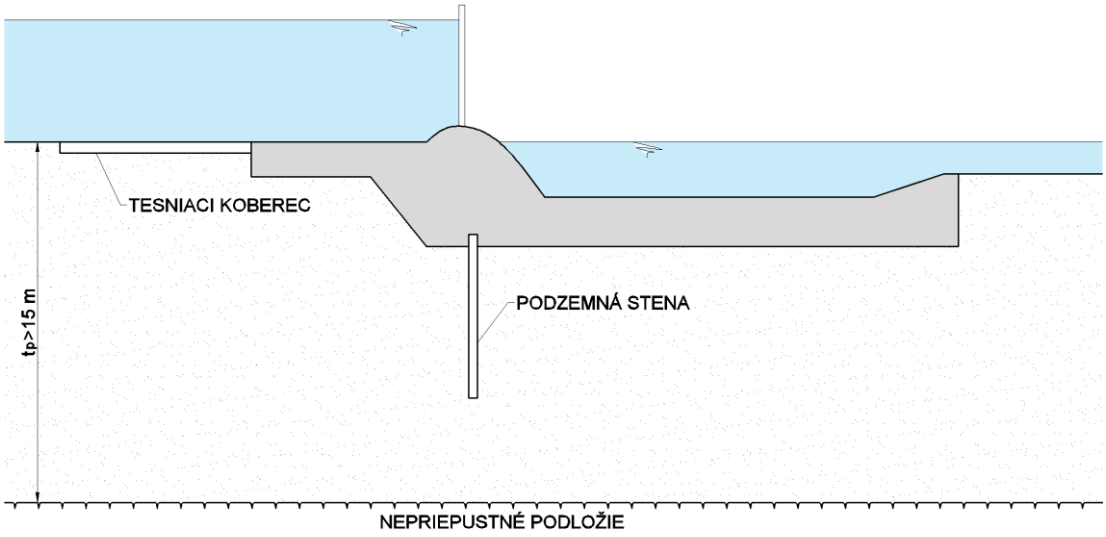
Obr. 5.24 Príklad úplného utesnenia podložia hate štetovnicovou stenou na návodnej aj vzdušnej strane – sektorová hať na Vodnom diele České Kopisty na rieke Labe, ČR

Ak je skalné podložie v hĺbke väčšej ako 15 až 20 m, navrhuje sa iba čiastočné utesnenie podložia zvislými tesniacimi prvkami a prípadne aj vodorovnými tesniacimi prvkami.

V prípade, že sa v podloží vyskytujú vo väčšom množstve veľké balvany nie je možné do takéhoto podložia štetovnicu zabaraniť, je nutné ju nahradiť monolitickou alebo prefabrikovanou stenou, prípadne vytvoriť stenu z vŕtaných pilót (Kap. 5.2.1)

V prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke väčšej ako 15 až 20 m, by bolo úplné utesnenie podložia technologicky náročné a nehospodárne. Preto sa navrhuje iba čiastočné utesnenie podložia zvislými tesniacimi prvkami (podzemná stena) a prípadne aj vodorovnými tesniacimi prvkami (tesniaci koberec) – Obr. 5.25. Dĺžka tesniacich prvkov by mala byť taká, aby predĺženie priesakovej filtračnej dráhy vyvolalo, také zníženie *filtračných rýchlostí* v podloží, pri ktorých nedochádza k vyplavovaniu zŕn z podložia.

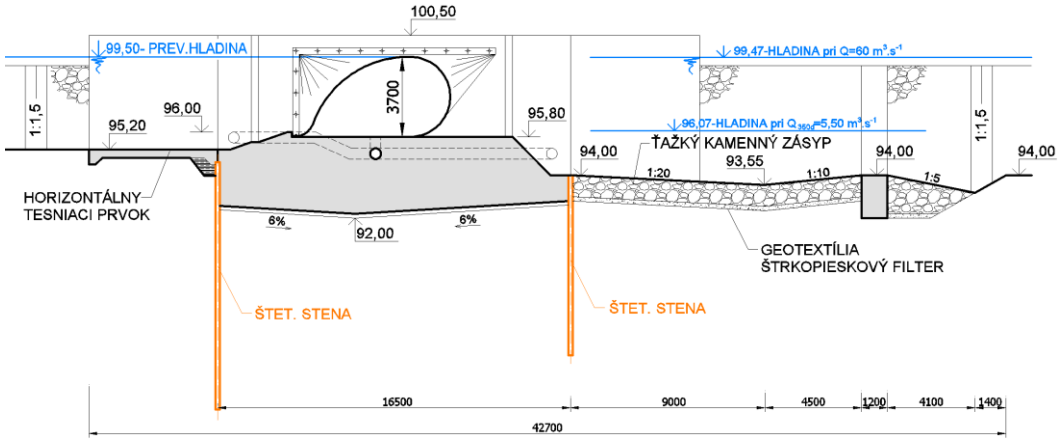
Hodnoty hraničných mocností priepustnej vrstvy zeminy sú orientačné, konkrétne parametre sú vlastné pre každú konštrukciu hate individuálne podľa parametrov a miestnych podmienok výstavby a prevádzky hate.



Obr. 5.25 Charakteristické zakladanie hate v prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke väčšej ako 15 až 20 m – schéma

V niektorých prípadoch, je nutné pre dostatočné predĺženie priesakovej filtračnej dráhy navrhnúť zvislý tesniaci prvok aj na návodnej strane spodnej stavby hate (Obr. 5.26).

Bližšie sa konštrukčnému prevedeniu tesniacich prvkov venuje Kap. 5.2.



Obr. 5.26 Príklad čiastočného utesnenia podložia štetovnicovou stenou na návodnej aj vzdušnej strane telesa hate doplnenou o horizontálny tesniaci koberec – plánovaná vaková hať Veľké Kapušany na Latorica

Dolný obrys spodnej stavby hate je v podstate najdôležitejšou časťou hate, pretože je po celú dobu životnosti neprístupný.

Hodnoty vyššie uvedených hraničných mocností priepustnej vrstvy zeminy sú orientačné, konkrétne parametre sú vlastné pre každú konštrukciu hate individuálne podľa parametrov a miestnych podmienok výstavby a prevádzky hate.

V prípade nesúdržných zemín sa základová škára „nezazubuje“. V prípade súdržných zemín je vhodné navrhnúť zazubenie základovej škáry, aby sa využili kohézne sily na zvýšenie bezpečnosti proti posunutiu hate. V niektorých prípadoch sa prispôsobuje tvar základovej škáry aj použitému haťovému uzáveru a základová škára je potom rôzne zalomená (Obr. 5.23 a Obr. 5.24). Pre zmenšenie vztlaku v podloží (Kap. 6.1.4) sa v základovej škáre navrhujú odvodňovacie drény s drenážnymi otvormi vo vývare chránenými obrátenými filtrami, proti vyplavovaniu zŕn základovej zeminy (Obr. 5.17, Obr. 5.32).

5.1.2.2 Posúdenie dolného obrysu spodnej stavby hate

Filtračné prúdenie pod základmi hate ovplyvňuje stabilitu celej hate. V prípade, že sú rýchlosti filtrácie pod haťou také veľké, že zo sebou unášajú zrná zeminy (tzv. *sufózia*), môže prísť k **prelomeniu podložia** (Kap. 6.2.5) a následne k havárii celého vodného diela.

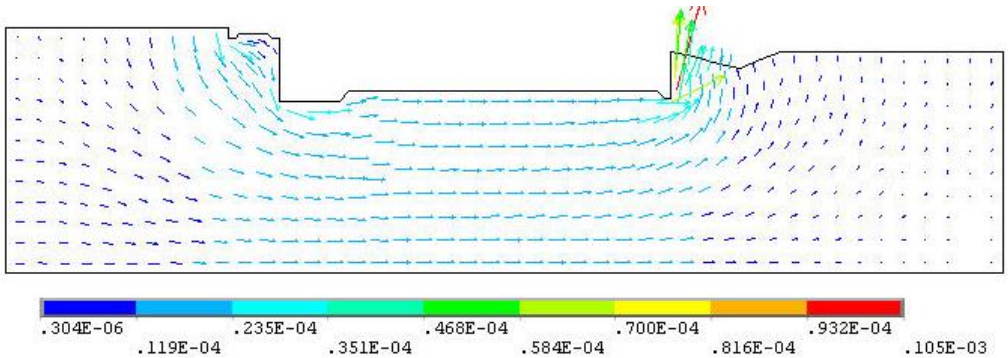
Rýchlosť filtrácie v_f je možné stanoviť v zmysle Darcyho filtračného zákona ako:

$$v_f = ki \ \text{[m.s}^{-1}\text{]} \quad \text{kde: } i = \frac{H}{L} \ \text{[-]} \tag{5.1}$$

kde:

k – je koeficient filtrácie (miera priepustnosti pórovitého prostredia) [ms^{-1}],
H – rozdiel hladiny nad a pod haťou (spád) [m],
L – dĺžka rozvinutého dolného obrysu základu hate [m],
i – hydraulický sklon (gradient) [-].

Zo vzťahu (5.1) je zrejmé, že rýchlosť filtrácie sa dá efektívne ovplyvniť najmä dĺžkou dolného obrysu spodnej stavby hate L. Čím je táto dĺžka väčšia, tým je rýchlosť filtrácie nižšia. Bezpečnosť stavby pritom vyžaduje to, aby filtračné rýchlosti boli vždy menšie ako rýchlosť spôsobujúca sufóziu, a aby vztlakové sily nenadľahčovali teleso hate do tej miery, že by prišlo k jeho posunutiu (Kap. 6.2.2). Filtračné rýchlosti je možné stanoviť rôznymi metódami. Podľa [29] sú to v súčasnej dobe najmä matematické modely, ktoré riešia prúdenie vody podložím hate napr. *metódou konečných prvkov* (Obr. 5.27).



Obr. 5.27 Vektorové pole filtračných rýchlostí – simulácia prúdenia pod základom hate modelom ANSYS (Zdroj. SvF STU Bratislava, © Andrej Šoltész, Dana Baroková)

Utesnenie priepustného podložia v smere zvislom je podstatne účinnejšie ako v smere vodorovnom.

Pre predbežný návrh hatí alebo pri jednoduchých geologických podmienkach je možné pre posúdenie dĺžky dolného obrysu spodnej stavby hate použiť približnú metódu podľa *Lane- a*, založenú na analýze príčin prelomenia základovej zeminy pod niekoľkými haťami v Indii.

Podľa Lane-a musí pre bezpečnú dĺžku rozvinutého dolného obrysu základu hate L v metroch platiť:

$$L \geq C_0 H \qquad (5.2)$$

kde:

C_0 – je súčiniteľ charakterizujúci podložie – pozri Tab. 5.1 [-],
H – maximálny rozdiel hladín nad a pod haťou [m].

Tab. 5.1 Súčiniteľ C_0 podľa Laneho

Druh základovej zeminy	***C_0***
veľmi jemný piesok až prach	8,5
jemný piesok	7,0
stredný piesok	6,0
hrubozrnný piesok	5,0
jemný štrk	4,0
stredný štrk	3,5
hrubý štrk s valúnmi	3,0
valúny so štrkom	2,5
mäkký íl	3,0
stredný íl	2,0
tuhý íl	1,8
veľmi tuhý íl	1,6

Lane vychádzal z poznatku, že zeminy sú uložené pod vodou väčšinou v približne vodorovných vrstvách bývajú priepustnejšie vo vodorovnom smere ako v smere zvislom. Preto je utesnenie priepustného podložia v smere zvislom podstatne účinnejšie ako v smere vodorovnom. Pri konštrukcii rozvinutého obrysu základu hate dĺžky L podľa Obr. 5.28 sa uvažuje, že zvislé dĺžky sa zarátajú do rozvinutej dĺžky celou dĺžkou a vodorovné iba jednou tretinovou.

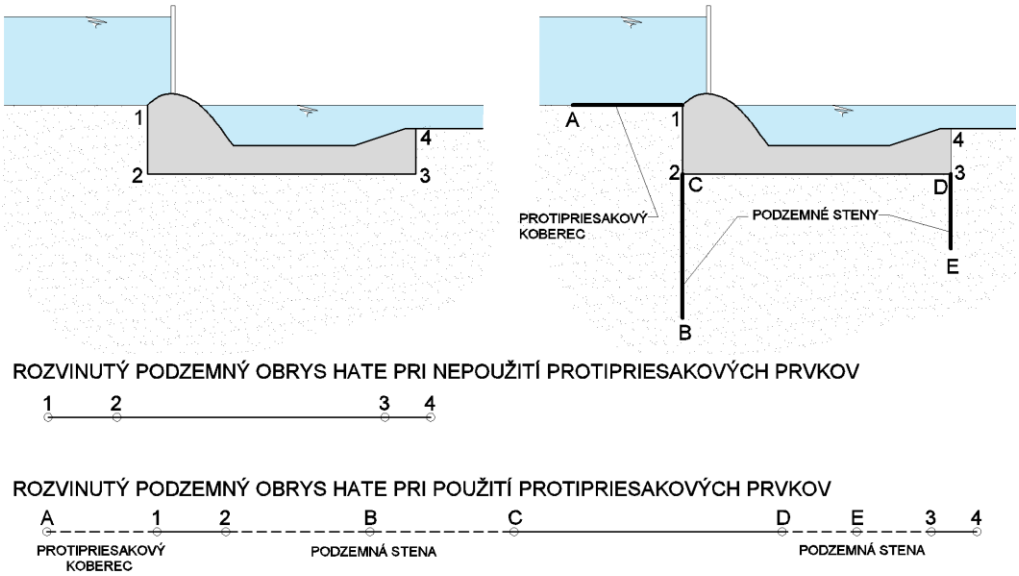
$$L = \sum L_V + \frac{1}{3}\sum L_H \qquad (5.3)$$

kde:

L_V – je dĺžka zvislých (vertikálnych) častí dolného obrysu spodnej stavby hate,
L_H – dĺžka vodorovných (horizontálnych) častí dolného obrysu spodnej stavby hate.

Časti základovej škáry, ktoré sú vytvorené pod uhľom väčším ako 45°, sa uvažujú ako zvislé. Časti základovej škáry, ktoré sú vytvorené pod uhľom rovným alebo menším ako 45°, sa uvažujú ako vodorovné.

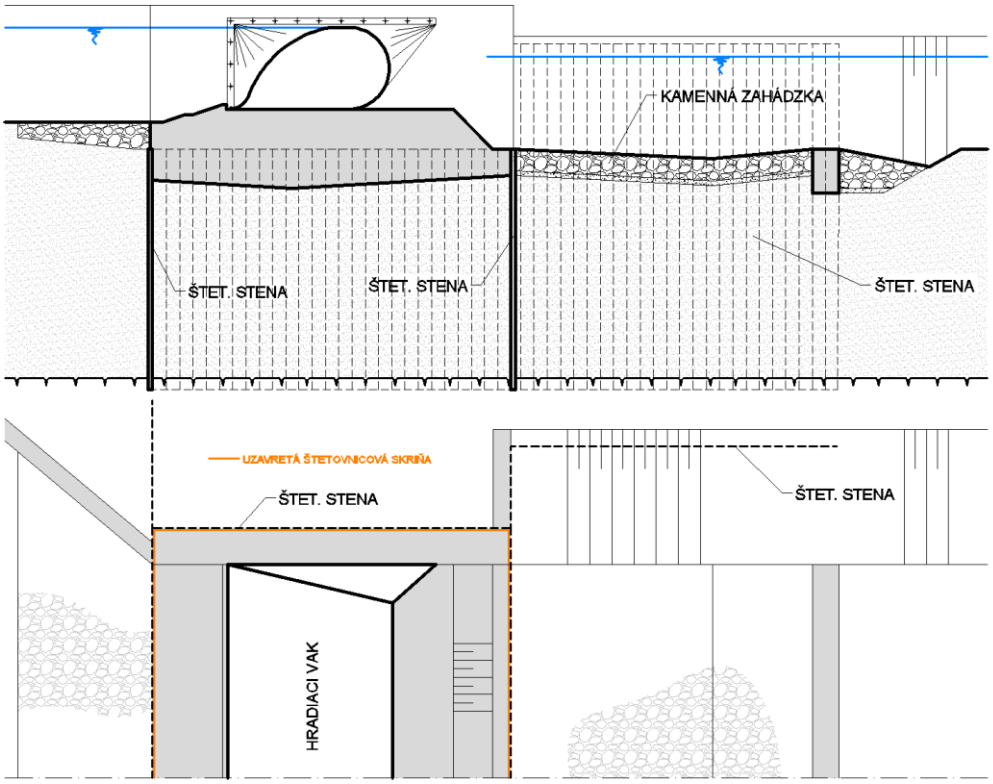
Pri konštrukcii rozvinutého obrysu základu hate sa uvažuje, že zvislé dĺžky sa zarátajú do rozvinutej dĺžky celou dĺžkou a vodorovné iba jednou tretinovou.



Obr. 5.28 Konštrukcia rozvinutého podzemného obrysu základu hate

5.1.2.3 Zakladanie hate v zložitých podmienkach

Pri výbere miesta na výstavbu hate sa prioritne hľadajú lokality s dobrými základovými podmienkami. Vyskytujú sa však prípady, kedy je potrebné vybudovať hať aj na menej únosnom podloží, resp. v inak zložitých podmienkach.



Obr. 5.29 Príklad založenia hate na tekutých pieskoch vytvorením uzavretej štetovnicovej skrine

V prípade tekutých pieskov sa navrhuje vytvorenie uzavretej skrine pomocou zvislých tesniacich prvkov.

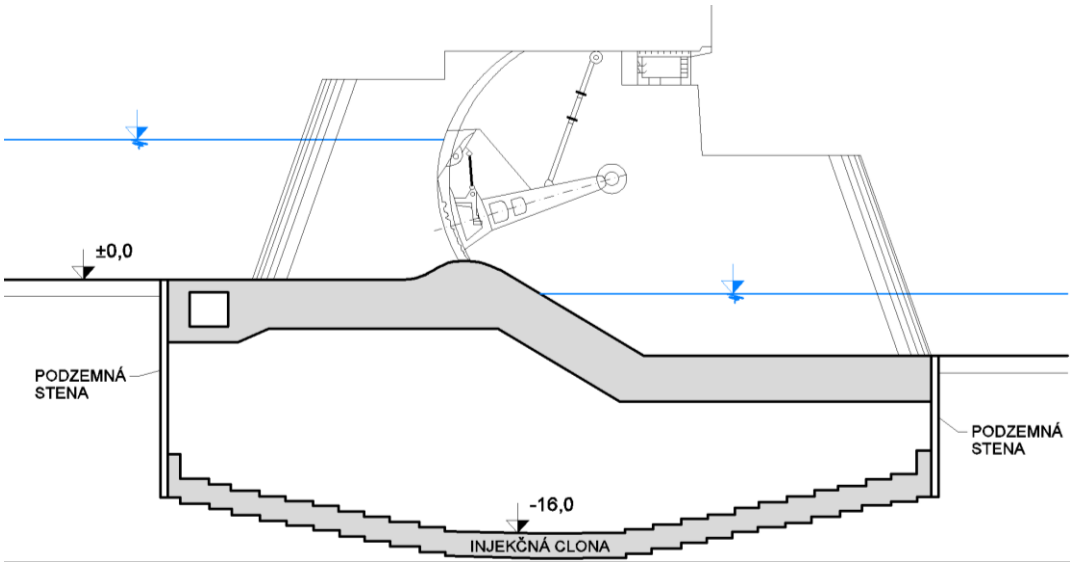
V prípade zakladania na hrubej vrstve sedimentov býva hať postavená v tzv. tesnenej vani.

V prípade napr. tekutých pieskov sa navrhuje pomocou zvislých tesniacich prvkov (väčšinou štetovníc) vytvorenie *uzavretej skrine*, ktorej hornú časť tvorí betónový blok tvoriaci spodnú stavbu hate (Obr. 5.29). Štetovnice môžu byť potom prípadne razené aj pozdĺž vývaru tak, aby predĺžili priesakové dráhy bočnej filtrácie. Pri založení hate pomocou tzv. uzavretej skrine však treba mať na zreteli fakt, že pod spodnou stavbou hate môže vzniknúť neprípustný vztlak zodpovedajúci hladine hornej vody. Z tohto dôvodu sa realizuje stena na vzdušnej strane hate ako perforovaná.

Na Obr. 5.30 sú zobrazené dôsledky prelomenia podložia z dôvodu nesprávneho návrhu založenia hate na neúnosnom podloží. Príčinou havárie bolo prelomenie podložia v dôsledku vymletia pieskových šošoviek z podložia. Vymletie bolo spôsobené neuzavretím štetovnicových stien. Štetovnicová stena na vzdušnej strane bola navrhnutá až za kamennou zahádzkou a netvorila spolu so štetovnicou na návodnej strane a bočnými štetovnicami uzavretú skriňu, ktorá by dostatočne stabilizovala problematické podložie pod telesom hate.

Obr. 5.30 Havária hate Šárovce na Hrone spôsobená prelomením podložia (Zdroj: archív autora)

Vo zvláštnych prípadoch (napr. vysoká hať na sedimentoch) býva hať postavená v tzv. *tesnenej vani*, t. z. že nepriepustná vrstva pod haťou je umelo vytvorená horizontálnou injekčnou clonou. Príkladom môže byť zakladanie Vodného diela Dunakiliti na Dunaji (Obr. 5.31), kde bolo zistené, že mocnosť priepustného podložia (naplavených štrkov) je až 200 m. Po obvode stavebnej jamy sa preto vybudovala 16 m hlboká podzemná tesniaca stena zo samotuhnúcej suspenzie. Plošnou injektážou sa pod celou plochou dna stavebnej jamy vytvorila tesniaca vrstva hrubá cca 5 m.

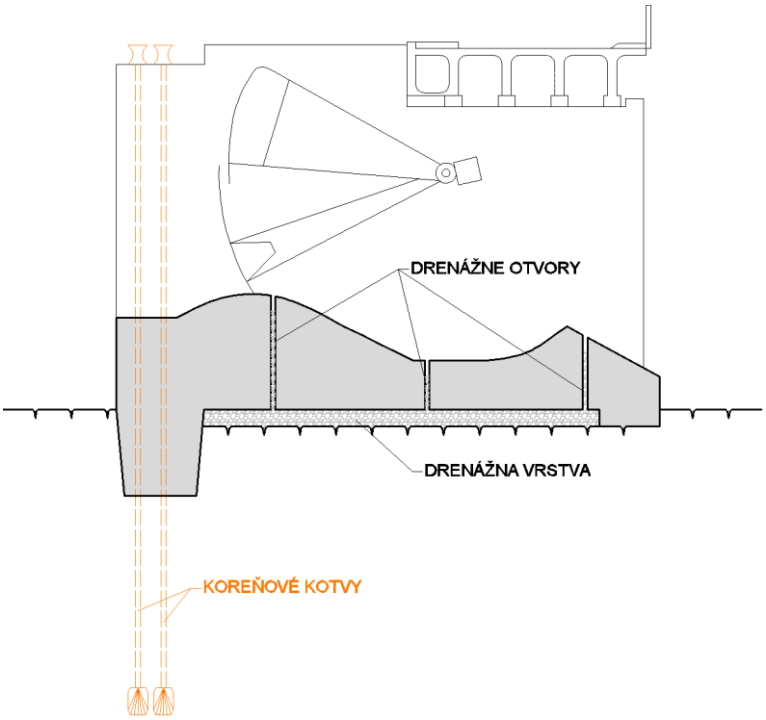


Obr. 5.31 Založenie hate Vodného diela Dunakiliti na Dunaji v umelo vytvorenej tesnenej vani

5.1.2.4 Kotvenie konštrukcie hate do podložia

Kotvením sa vnesie do haťového telesa kotviaca sila, ktorá pôsobí proti vztlakovej sile a zlepšuje spolupôsobenie spodnej stavby hate s podložím.

Stabilitu hate proti posunutiu, ušmyknutiu, nadvihnutiu alebo preklopeniu je možné zvýšiť predovšetkým znížením vztlaku pôsobiaceho na spodnú stavbu hate v základovej škáre (Kap. 6.1.4). Zníženie hodnoty vztlakovej sily je možné dosiahnuť nie len predĺžením filtračnej dráhy pomocou zvislých a vodorovných tesniacich prvkov (Kap. 5.2) alebo vhodne situovanými drenážnymi otvormi (Kap. 5.1.1.3), ale aj *kotvením stavby do podložia*.



Obr. 5.32 Príklad ukotvenie hate do podložia koreňovými kotvami na Vodnom diele Hričov na rieke Váh

Kotvením sa vnesie do haťového telesa kotviaca sila, ktorá pôsobí proti vztlakovej sile a zlepšuje spolupôsobenie spodnej stavby hate s podložím.

Kotvene je možné realizovať napr. pomocou kotviaceho koberca (Kap. 5.2.2), predpínacích káblov alebo tyčovými kotvami zapustenými dolným koncom do horniny podložia a horným koncom do konštrukcie telesa hate. Dôležitým parametrom kotvenia je najmä hĺbka zakotvenia, ktorou je potrebné zabezpečiť dostatočný odpor proti vytrhnutiu. Proti vytrhnutiu kotvy z podložia sa najčastejšie navrhujú tzv. *koreňové kotvy* (Obr. 5.32).

Kontrolné otázky

Čo patrí medzi základné stavebné časti hate?

Od čoho závisí tvar horného obrysu spodnej stavby hate?

Od čoho závisí tvar koruny priepadu a priepadovej plochy?

Akým spôsobom je riešený prechod priepadovej plochy a vývaru?

Aké sú zásady konštrukčného návrhu vývaru?

Prečo sa vo vývarovej doske navrhujú drenážne otvory a aké sú zásady ich konštrukčného návrhu?

Od čoho závisí tvar dolného obrysu spodnej stavby hate?

Aké sú charakteristické typy zakladania hate?

Na základe akého kritéria je možné posúdiť dolný obrys spodnej stavby hate?

Akými spôsobmi je možné zakladať hať v zložitých podmienkach?

Ako je možné zvýšiť stabilitu hate napr. proti posunutiu?

5.2 Tesniace (protipriesakové) prvky

Absolútnemu zamedzenie prieniku vody do priestoru pod spodnú stavbu hate je technicky náročné a ekonomicky neúnosné.

Zvislé a vodorovné tesniace prvky slúžia na to, aby minimalizovali prístup vody pod základ hate, resp. v miestach pripojenia hate do brehov. Voda pod dolným obrysom spodnej stavby hate pôsobí na hať *vztlakovou silou*, ktorá môže nadľahčovať teleso hate do tej miery, že môže prísť napr. k nadvihnutiu hate (Kap. 6.2.3). Zabránením prístupu vody sa minimalizuje veľkosť vztlakovej sily.

V prípade prostredia, ktoré umožňuje *filtráciu* vody v podloží (štrkopiesky, piesky, hliny) je nutné eliminovať nebezpečenstvo sufózie (vyplavovanie zŕn) a následnej deštrukcie podložia.

V prípade, že sa úplne nedá zabrániť prístupu vody pod dolný obrys spodnej stavby hate (napr. ak nie je v podloží v dosiahnuteľnej hĺbke nepriepustná vrstva, do ktorej by bola spodná stavba, resp. zvislý tesniaci prvok „zaviazaná/ý“), slúžia zvislé a (alebo) vodorovné tesniace prvky na to, aby v dostatočnej miere *predĺžili filtračnú dráhu* vody prostredníctvom predĺženia dolného obrysu spodnej stavby hate a tak *znížili filtračné rýchlosti* na bezpečnú hodnotu, pri ktorých už nedochádza k sufózii.

Absolútnemu zamedzenie prieniku vody do priestoru pod spodnú stavbu hate je technicky náročné a ekonomicky neúnosné. Vhodnejšie a prakticky realizovateľné je vode, ktorá do priestoru pod haťou prenikla, umožniť z tohto priestoru odtiecť, čím sa umožní, aby vztlak pozdĺž základovej škáry klesal. Zníži sa tak zaťaženie hate vztlakom.

5.2.1 Zvislé tesniace prvky

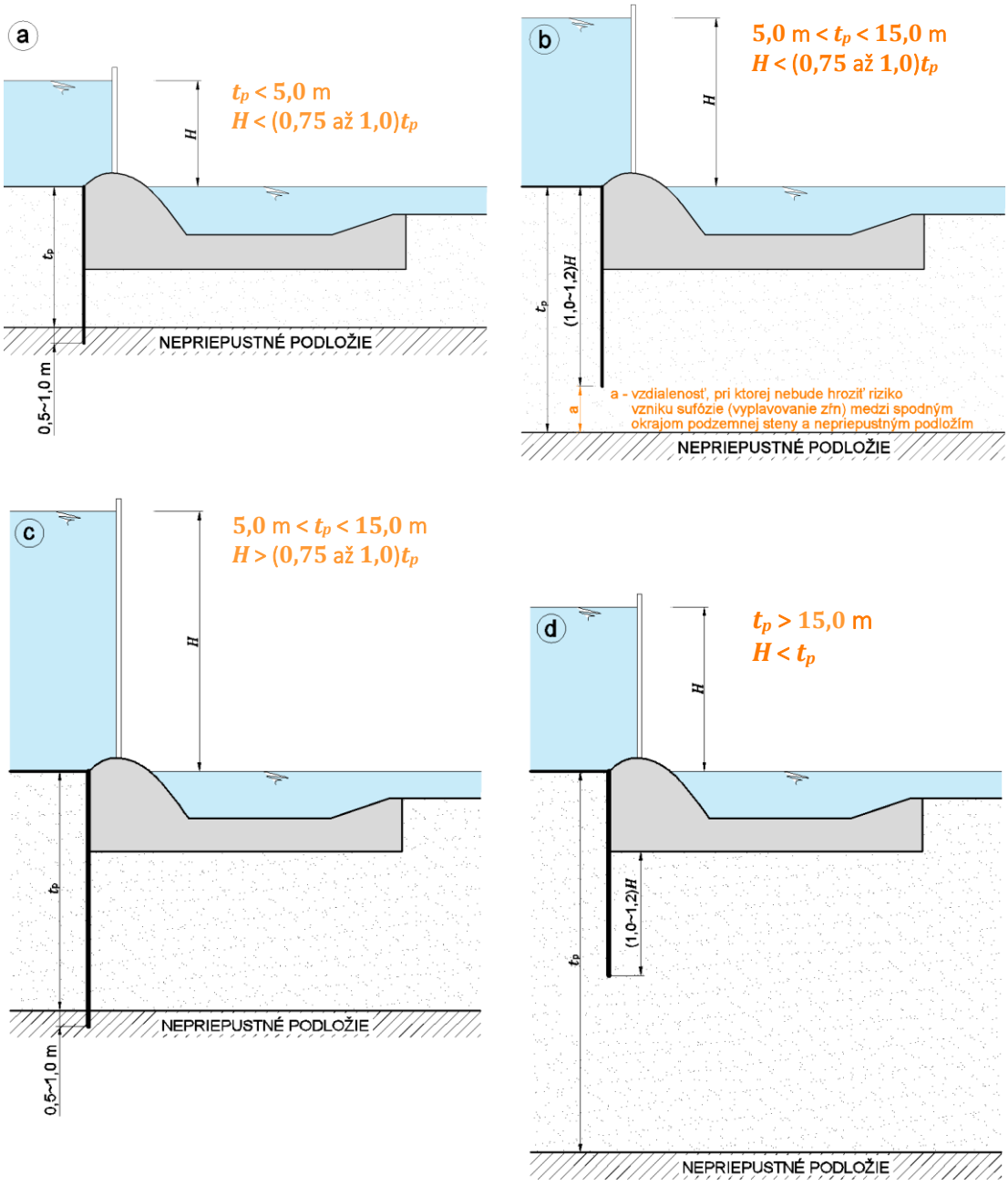
Zvislé tesniace prvky sú vertikálne konštrukcie budované pod spodnou stavbou čo najbližšie k hornej vode, aby eliminovali, resp. minimalizovali prístup vody pod spodný obrys hate. Sú účinnejšie ako vodorovné tesniace prvky. Väčšinou sú vytvorené oceľovou štetovnicovou stenou, betónovou podzemnou stenou, injekčnou clonou, zemnou alebo betónovou membránou. Hĺbka, do ktorej sú tieto prvky budované, závisí od vlastností podložia a od parametrov hate. Orientačná návrhová dĺžka zvislého tesniaceho prvku v závislosti od hĺbky nepriepustného podložia t_p a spádu H je na Obr. 5.33.

V prípade, že sa nepriepustné podložie nachádza v hĺbke menšej ako 5 m, zakladá sa celé teleso hate (najmä pri vysokých hatiach) priamo na nepriepustnú vrstvu Obr. 5.19 a Obr. 5.20. V prípade hatí s nízkym spádom, nie je nevyhnutne nutné založiť teleso hate až na nepriepustné podložie, ale je účelné zaviazať zvislé tesniace prvky až do nepriepustného podložia do hĺbky $0{,}5$ až $1{,}0$ m (Obr. 5.33a). Podložie hatí so spádom väčším ako $0{,}75$ až $1{,}0$ násobok hrúbky priepustného podložia je vhodné utesniť aj v prípade, že je nepriepustné podložie v hĺbke až do 15 m (Obr. 5.33c). V prípade, že je spád na hatí menší ako $0{,}75$ až $1{,}0$ násobok hrúbky priepustného podložia (Obr. 5.33b), alebo je táto vrstva hrubšia ako 15 m (Obr. 5.33d), utesňuje sa podložia iba čiastočne do hĺbky cca $(1{,}0$ až $1{,}2)H$.

Je zrejmé, že vyššie uvedené pravidlá slúžia iba pre predbežný návrh a neodporúča sa ich používať mechanicky. Najmä v prípade ilustrovanom na Obr. 5.33c je potrebné mať na pamäti, že vzdialenosť medzi spodným okrajom tesniaceho prvku a nepriepustného podložia musí byť taká, aby voda prúdiaca týmto otvorom nedosahovala také rýchlosti, pri ktorých by dochádzalo k vyplavovaniu zŕn z podložia (k sufózii).

Pre presnejší návrh je možné použiť napr. *metódu konečných prvkov* a pod.

K úplnému, resp. čiastočnému utesneniu podložia obyčajne postačuje jedna tesniaca stena na návodnej strane.



Obr. 5.33 Orientačná návrhová dĺžka zvislého tesniaceho prvku

K úplnému, resp. čiastočnému utesneniu podložia obyčajne postačuje jedna tesniaca stena na návodnej strane. Stena na vzdušnej strane sa navrhuje iba výnimočne, a to najmä v prípade hatí s veľkým spádom, pri ktorých dĺžka steny na návodnej strane nestačí na predĺženie spodného obrysu tak, aby sa znížili filtračné rýchlosti na hodnotu, pri ktorých už nedochádza k sufózii podložia. Aby sa uplatnil účinok zvislých tesniacich prvkov na zníženie filtračných rýchlostí v podloží mala by byť minimálna vzdialenosť medzi dvoma zvislými tesniacimi prvkami L_{min} (Obr. 5.34a):

$$L_{min} = 1{,}5\,\frac{l_1+l_2}{2} \qquad (5.4)$$

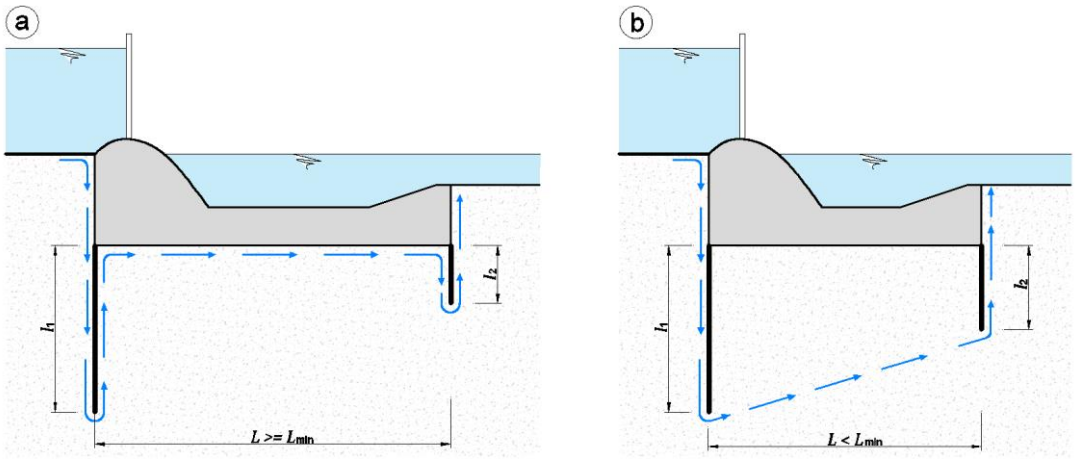
kde:

l_1 – je dĺžka zvislého tesniaceho prvku na návodnej strane hate,

l_2 – dĺžka zvislého tesniaceho prvku na vzdušnej strane hate.

V prípade, ak by vzdialenosť medzi zvislými tesniacimi prvkami bola príliš malá, mohlo by prísť v dôsledku neúčinnosti predĺženia spodného obrysu hate, k prekročeniu očakávaných filtračných rýchlostí v podloží a k zvýšeniu vztlaku.

V prípade, ak by vzdialenosť medzi zvislými tesniacimi prvkami bola menšia ako L_{min} (Obr. 5.34b), mohlo by prísť v dôsledku neúčinnosti predĺženia spodného obrysu hate, k prekročeniu očakávaných filtračných rýchlostí v podloží a k zvýšeniu hodnoty očakávaného vztlaku v základovej škáre telesa hate (Kap. 6.1.4).



Obr. 5.34 Vplyv vzdialenosti zvislých tesniacich prvkov na filtračné prúdenie v podloží

Zvislý tesniaci prvok je možné realizovať:

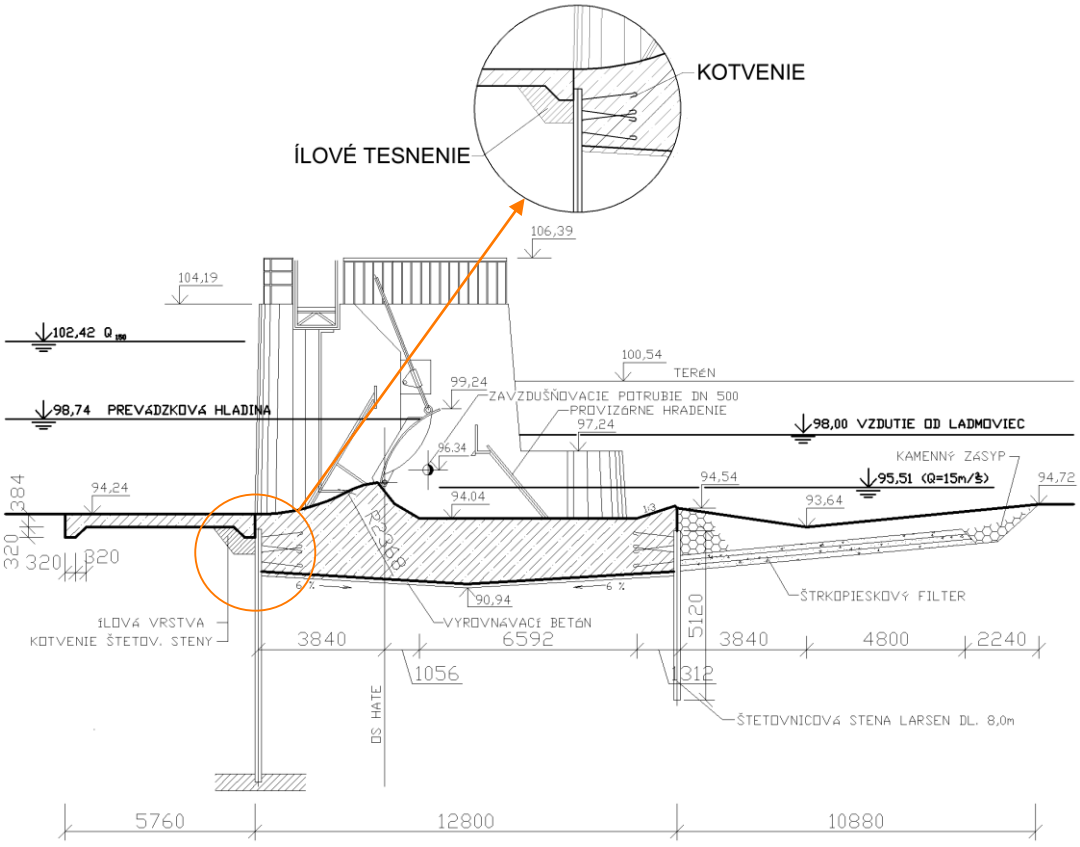
- zabaranením,
- podzemnou stenou,
- injekčnou clonou.

Zabaranením je možné realizovať tzv. štetovnicové steny. V súčasnosti sa používajú najmä oceľové steny typu Larsen (Obr. 5.35), ktoré sa baranía buď v jednom rade, kde tesniaci prvkom je samotná štetovnicová stena, alebo v dvoch radoch, kde sa po zabaranení priepustná zemina medzi štetovnicami odstráni a voľný priestor sa vyplní nepriepustným materiálom (napr. ílom). Štetovnicové steny sú vhodné najmä pre podložie piesčité, hlinito–piesčité, resp. štrkopieskové, ktoré neobsahuje veľké balvany. Oceľové štetovnicové steny bývajú dlhé 15 až 20 m. Vo výnimočných prípadoch a vo vhodných podmienkach je možné ich po zvarení baraniť až do hĺbky 40 m. V prípade, že sú štetovnice razené až do niepriepustného podložia, hrozí riziko roztrhnutia steny v zámku, čo môže mať za následok zvýšenie filtračných rýchlostí s následnou sufóziou podložia v mieste roztrhnutia. Priepustnosť štetovnicových stien je možné znížiť utesnením zámkov, napr. asfaltovými nátermi pred zabaranením, najmä ak sa štetovnice razia v skupinách po niekoľkých kusoch naraz. Ich životnosť je ovplyvnená kvalitou použitého materiálu a chemickým zložením podzemných vôd. Životnosť oceľovej štetovnicovej steny býva v bežných prípadoch 50 až 60 rokov.

Dôležitým aspektom návrhu štetovnicovej tesniacej steny je zabezpečenie nepriepustnosti a pružnosti pripojenia štetovníc k haťovému telesu.

Obr. 5.35 Štetovnicová stena typu Larsen (Zdroj: vuis.sk)

Dôležitým aspektom návrhu štetovnicovej tesniacej steny je zabezpečenie nepriepustnosti a pružnosti pripojenia štetovníc k haťovému telesu.

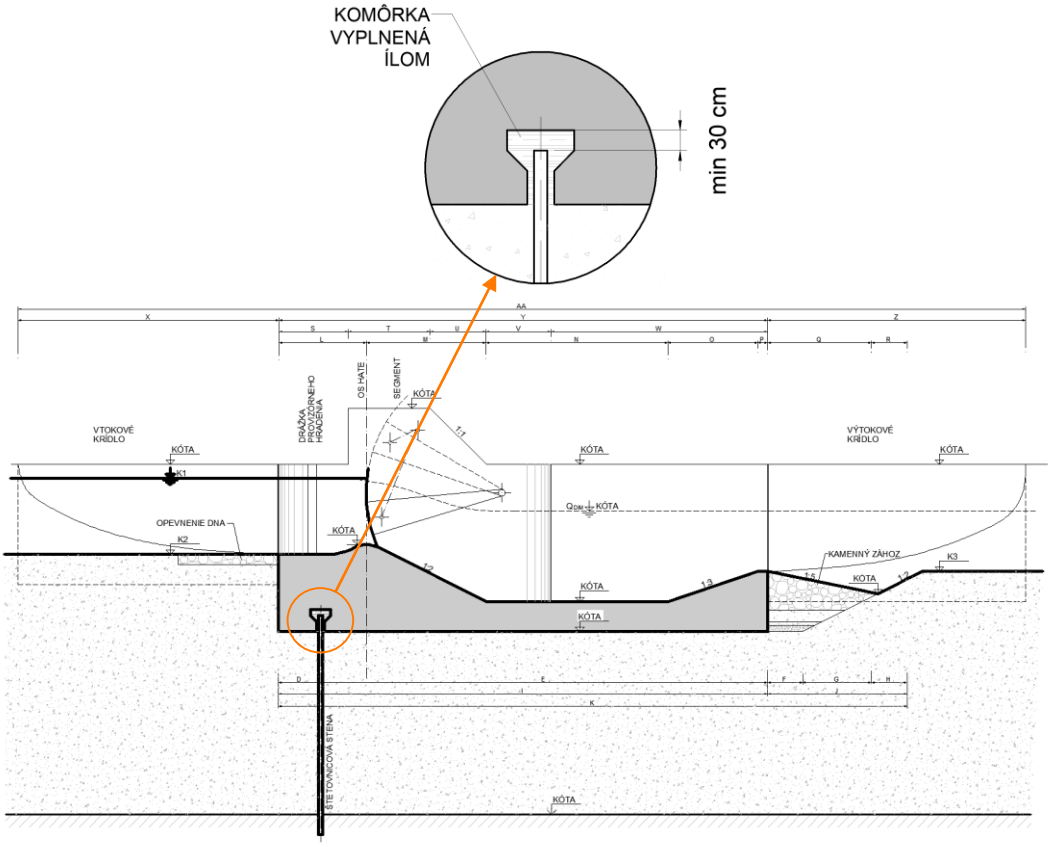


Obr. 5.36 Pripojenie štetovnicovej steny k telesu hate pri nestlačiteľnom podloží

Výhodou podzemných stien je to, že je ich možné využiť aj ako statický prvok a nepodliehajú korózii.

V prípade nestlačiteľného, resp. málo stlačiteľného podložia je možné štetovnicové steny pripojiť priamo kotvami na armatúru betónového telesa hate (Obr. 5.36). Skrutky kotiev sa dotiahnu až po dobudovaní telesa hate a styčné plochy medzi betónom a štetovnicovou stenou sa natrú asfaltom. Výhodou tohto riešenia je to, že štetovnicová stena môže tvoriť ohrádzku počas výstavby hate (Kap. 10) a súčasne zlepšuje stabilitu hate proti posunu po základovej škáre.

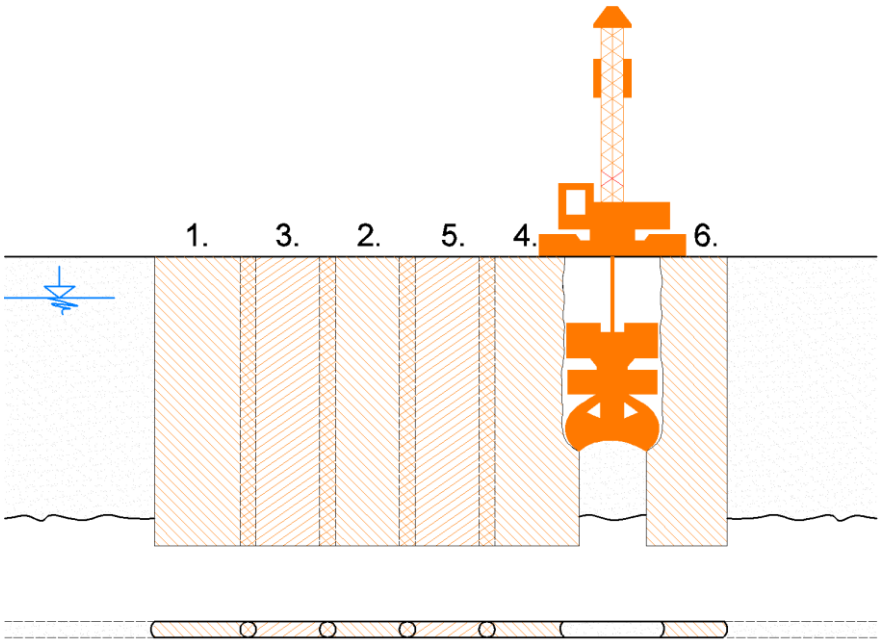
V prípade stlačiteľného podložia je nutné zabezpečiť pružné spojenie štetovnicovej steny a telesa hate, aby sa umožnilo prípadné sadnutie konštrukcie. Štetovnicová stena prechádza betónovým základom hate do komôrky vyplnenej najčastejšie ílom, umožňujúcim pohyb štetovnice vo vertikálnom smere a súčasne zabezpečujúcim vodotesnosť spoja (Obr. 5.37).



Obr. 5.37 Pripojenie štetovnicovej steny k telesu hate pri stlačiteľnom podloží

V prípade, že nie je možné (z akéhokoľvek dôvodu) raziť štetovnicovú stenu, navrhuje sa ako zvislý tesniaci prvok podzemná stena. Jej výhodou je lepšia vodotesnosť, je možné ju využiť aj ako statický prvok a nepodlieha korózii. Nevýhodou sú vyššie náklady na jej realizáciu. Podzemné steny sú obyčajne betónované – široké cca $0{,}5$ až $1{,}0$ m. Problematika budovania podzemných stien je natoľko široká, že v rámci rozsahu týchto skrípt sa jej nie je možné venovať detailne.

Pre ilustráciu je na Obr. 5.38 uvedený spôsob, pri ktorom sa podzemná stena realizuje vyplnením ryhy vyhĺbenej rýpadlom ílovým bentonitom (samotvrdnúcou zmesou, ktorá pred zatvrdnutím plní funkciu paženie vyhĺbenej ryhy) alebo betónom.

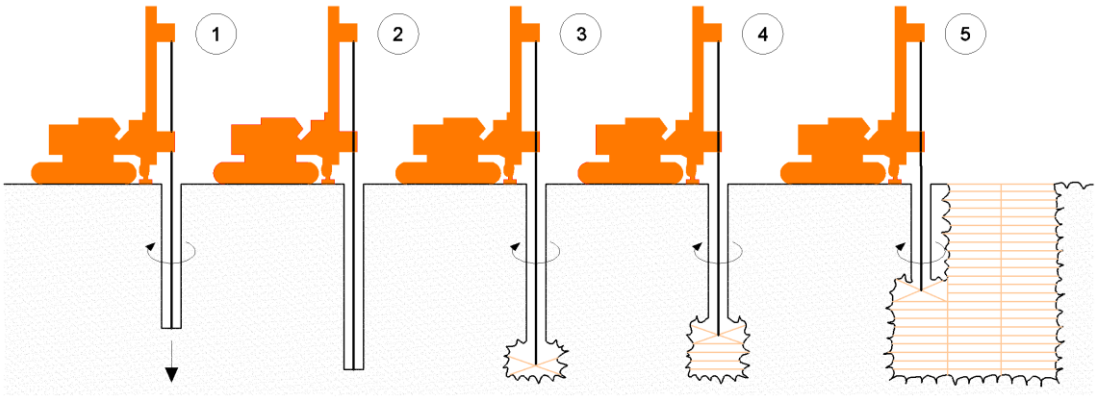


Obr. 5.38 Technologický postup výstavby podzemnej tesniacej steny vyplnením ryhy vyhĺbenej rýpadlom (Zdroj: soletanche.cz)

Obr. 5.39 Výstavba podzemnej tesniacej steny vyplnením ryhy vyhĺbenej rýpadlom (Zdroj: solhydro.sk)

K utesneniu podložia je možné použiť aj injekčné clony (cementové, ílové alebo chemické). Hĺbka injektáže môže byť až 100 m. Sú vhodné najmä pre skalné podložie, kde sa tesniaca clona realizuje pomocou vypĺňanie pórov tekutou cementovou zmesou. V prípade

štrkopieskových priepustných zemín je realizácia injekčnej clony technicky obtiažnejšia a cementové zmesy sa do podložia musia vháňajú pod vysokým tlakom (tzv. *trysková injektáž*). Technologický postup injektáže je znázornený na Obr. 5.40. Injekčná clona sa realizuje z injekčnej štôlne (Obr. 5.21) alebo ešte pred samotnou výstavbou hate z betónového bloku alebo dosky.

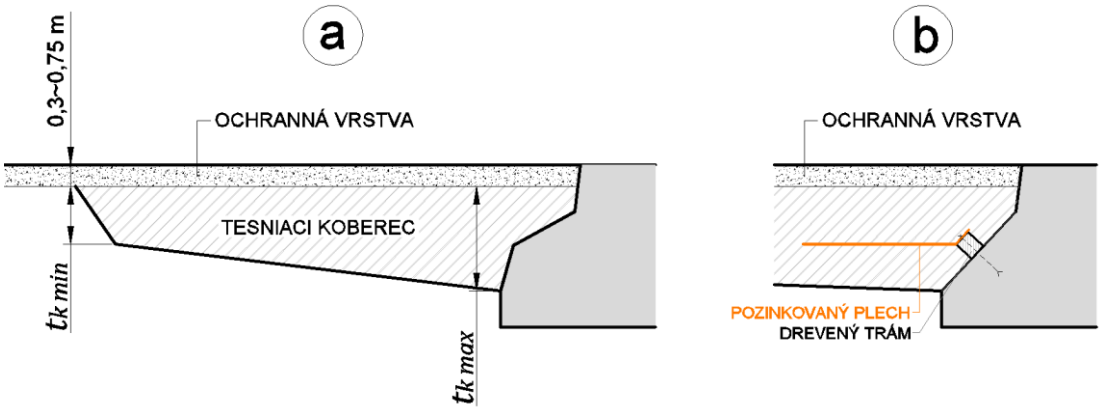


Obr. 5.40 Technologický postup rotačnej tryskovej injektáže: 1 – rotačné vŕtanie, 2 – ukončenie vŕtania, 3 – začiatok tryskovej injektáže a vytváranie injekčnej clony s rotujúcou tryskou, 4 – vyťahovanie vrtnej tyče, 5 – realizácia ďalších vrtov previazaním jednotlivých clôn (Zdroj: soletanche.cz)

5.2.2 Vodorovné tesniace prvky

Vodorovné tesniace prvky majú oproti zvislým tesniacim prvkom cca tretinovú účinnosť.

Vodorovné tesniace prvky tvoria tzv. *predsunuté tesniace koberce* z ílu, hliny, ílobetónu, betónu (asfaltobetónu) alebo železobetónu. Používajú sa na utesnenie hatí založených na hlbokých priepustných zeminách namiesto alebo v kombinácii so zvislými tesniacimi prvkami (Kap. 5.2.1). Oproti zvislým tesniacim prvkom však majú asi tretinovú účinnosť. Materiál koberca, ktorý kryje dno ale aj brehy pred haťou, by mal mať súčiniteľ priepustnosti aspoň 100-krát menší ako je súčiniteľ priepustnosti základovej zeminy (Obr. 5.41). V prípade, že nie je v blízkosti stavby vyhovujúci materiál, použijú sa umelé tesniace hmoty ako betón, asfaltobetón a pod. (Obr. 5.36).



Obr. 5.41 Tesniaci koberec z nepriepustnej zeminy a jeho pripojenie k haťovému telesu

Približnú najväčšiu hrúbku tesniaceho koberca $t_{k\ max}$ zo zemných materiálov v mieste jeho napojenia na hať́ové teleso je možné stanoviť podľa vzťahu:

$$t_{k\ max} = \frac{\Delta H}{i_{dov}} \ [\text{m}] \qquad (5.5)$$

kde:

ΔH – je rozdiel tlakových výšok na pôsobiacich koberec zhora a zdola v mieste jeho napojenia na hať́ové teleso [m],

i_{dov} – prípustný hydraulický sklon v koberci, pri ktorom nedochádza k sufózii (5 až 6) [-].

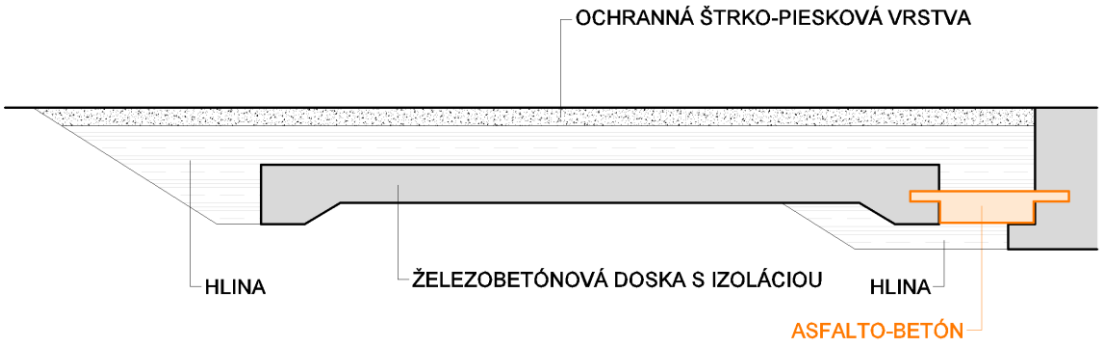
Zvýšenú pozornosť treba venovať napojeniu koberca na pevné teleso hate.

Pri predbežnom návrhu je možné pri kobercoch z ílu uvažovať s hrúbkou $t_{k\ max}$ = 1 až 2 m a na voľnom konci $t_{k\ min}$ = 0,5 až 0,75 m. Pri kobercoch z hlinitých materiálov s o niečo väčšou hrúbkou $t_{k\ max}$ = 1,3 až 2,5 m a $t_{k\ min}$ = 0,8 až 1,25 m.

Zvýšenú pozornosť treba venovať napojeniu koberca na pevné teleso hate. Koberec sa pripája prostým dotykom na zošikmenú, resp. zazubenú plochu (Obr. 5.41a), na ktorú vodný tlak koberec pritláča. Vodotesnosť je možné zvýšiť vložením pozinkovaného plochu, resp. asfaltovej dosky, a to po celej šírke koberca (Obr. 5.41b).

Povrch koberca sa chráni vrstvou štrkopiesku alebo štrku hrubou 0,3 až 0,75 m. V prípade, že rýchlosti pred hať́ou sú väčšie ako nevymieľacie rýchlosti použitého materiálu, je nutné chrániť tesniaci koberec napr. *kamennou dlažbou* (Kap. 5.4).

V prípade, že je koberec vytvorený z betónu, resp. železobetónu, je k telesu hate pripojený ťahovou výstužou, aby sa zvýšila bezpečnosť konštrukcie napr. proti posunutiu (Kap. 6.2.2) alebo preklopeniu (Kap. 6.2.4). V takomto prípade sa využíva kotviaci efekt tesniaceho koberca, pri ktorom sa vztlak pôsobiaci na spodnú stavbu hate zmenšuje prídavnou silou vyvolanou nie len vlastnou tiažou koberca, ale aj tlakom hornej vody na predsunutý koberec – tzv. ***kotviaci koberec***. Vodotesnosť spoju je zabezpečená uložením tesniaceho koberca v mieste spoja do ílovej vrstvy (Obr. 5.36). V prípade predpokladu nerovnomerného sadania telesa hate a koberca sa pripojenie koberca k telesu hate realizuje ako ***pružné (kĺbové)*** napr. vložením asfaltového bloku medzi koberec (napr. železo-betónovú dosku) a teleso hate (Obr. *5.42*).



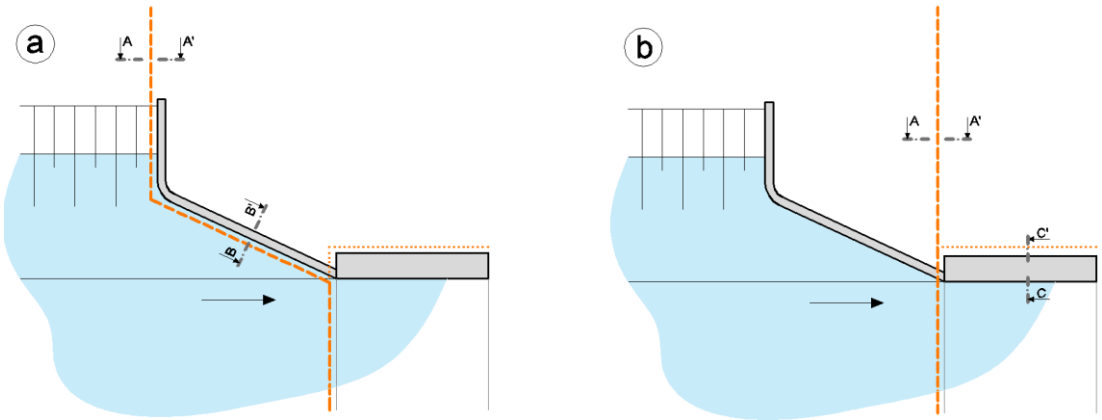
Obr. 5.42 Pružné (kĺbové) pripojenie betónového predsunutého tesniaceho koberca k hati v prípade nerovnomerne stlačiteľného podložia

5.2.3 Opatrenia proti priesaku okolo brehových krídiel

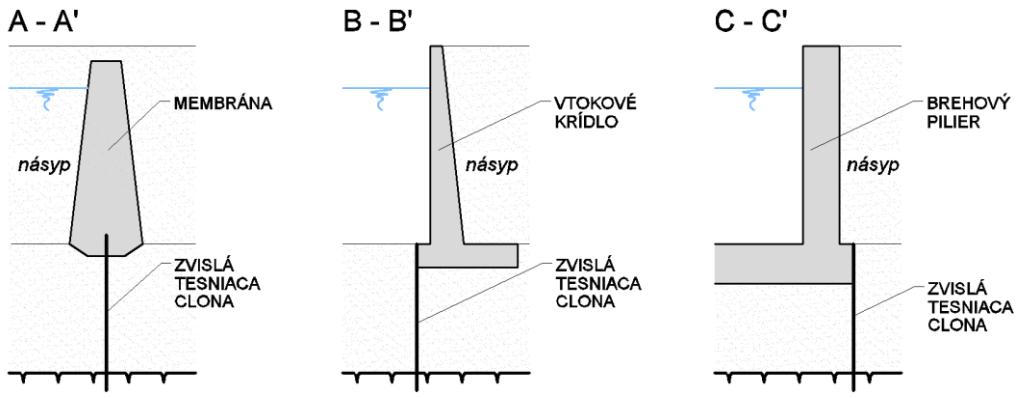
Utesnenie podložia pod vlastným telesom hate bude účinné iba v prípade, že na neho budú nadväzovať tesniace prvky proti bočnej filtrácii v mieste brehových (vtokových) krídiel. K nepriepustným vtokovým krídlam sa tesniace prvky pripoja podľa (Obr. 5.43a, Obr. 5.45a, Obr. 5.46a). V prípade, že sú vtokové krídla priepustné, predĺžia sa tesniace prvky až za krídla, resp. až za brehové piliere tak, aby boli dostatočne predĺžené filtračné dráhy (Obr. *5.43*b, Obr. *5.45*b, Obr. 5.46b).

Zaviazanie spodnej stavby hate do brehu je možné v zásade troma základnými spôsobmi:

1. *Haťové teleso je tesnené iba zvislými tesniacimi prvkami.* V prípade, že vtokové krídla sú nepriepustné (Obr. 5.43a), tak je zvislý tesniaci prvok vedený pod základom krídla (– – –), s ktorým potom spoločne tvorí nepriepustnú stenu (Obr. 5.44 – *Rez B-B'*). V prípade, že vtokové krídla sú priepustné (Obr. 5.43b), zvislý tesniaci prvok je predĺžený až za vtokové krídlo, kde je spojený s nepriepustnou zemnou alebo betónovou membránou až nad hladinu vzdutej vody (Obr. 5.44 – Rez A-A'). V oboch prípadoch je vhodné zvislý tesniaci prvok navrhnúť aj za brehovým pilierom (·····), s cieľom znížiť vztlak na základ tohto piliera a na priľahlú časť haťového telesa (Obr. 5.44 – Rez C-C').

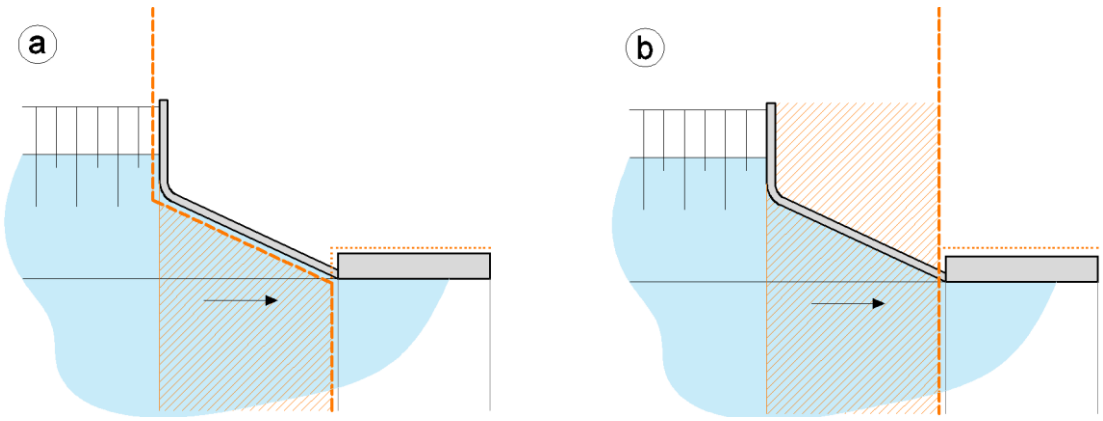


Obr. 5.43 Schéma bočného utesnenia v prípade, že haťové teleso je tesnené iba zvislými tesniacimi prvkami: a – nepriepustné vtokové krídlo, b – priepustné vtokové krídlo



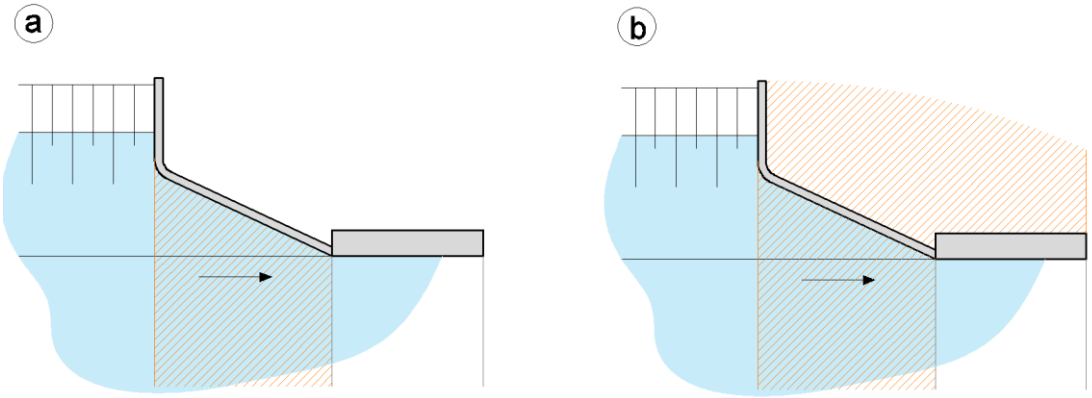
Obr. 5.44

2. *Haťové teleso je tesnené kombináciou zvislých a vodorovných tesniacich prvkov.* V prípade, že vtokové krídla sú nepriepustné (Obr. 5.45a), tak sa zvislý tesniaci prvok vedený pod základom krídla (– – –) nepriepustne spojí s tesniacim kobercom. V prípade, že vtokové krídla sú priepustné (Obr. 5.45b), zvislý tesniaci prvok je predĺžený až za vtokové krídlo, kde je podobne ako v predchádzajúcom prípade spojený s nepriepustnou zemnou alebo betónovou membránou až nad hladinu vzdutej vody (Obr. 5.44 – Rez A-A'). Tak isto je pod vtokové krídlo predĺžený aj tesniaci koberec, ktorý je vodotesne spojený s predĺženou zvislou tesniacou clonou. S cieľom znížiť vztlak na brehový pilier je navrhnutý zvislý tesniaci prvok aj za brehovým pilierom (·····).



Obr. 5.45 Schéma bočného utesnenia v prípade, že haťové teleso je tesnené kombináciou zvislých a vodorovných tesniacich prvkov: a – nepriepustné vtokové krídlo, b – priepustné vtokové krídlo

3. *Haťové teleso je tesnené iba vodorovnými tesniacimi prvkami.* V prípade, že vtokové krídla sú nepriepustné (Obr. 5.46a), tak sa tesniaci koberec vodotesne pripojí na brehové krídlo, čím sa pred haťou vytvorí vodotesný žľab. V prípade, že vtokové krídla sú priepustné (Obr. *5.46*b), je tesniaci koberec predĺžený pod vtokové krídlo a vodotesne spojený s brehovým krídlom.



Obr. 5.46 Schéma bočného utesnenia v prípade, že haťové teleso je tesnené iba vodorovnými tesniacimi prvkami: a – nepriepustné vtokové krídlo, b – priepustné vtokové krídlo

5.3 Opevnenia dna a brehov za podhatím (vývarom)

Opevnenia dna a brehov za haťou musí byť dolné, pružné, priepustné a drsné.

Vzhľadom na možnosť vzniku výmoľov na tokoch s málo odolným dnom opevňujeme aj dno za vývarom. Opevnenia za vývarom musí byť:

- **odolné,** aby odolávalo účinkom vodného prúdu a nebolo odplavené,
- **pružné**, aby bolo schopné sa prispôsobiť (bez prerušenia svojej ochrannej funkcie) poklesom dna, ktoré môžu vzniknúť jeho vymieľaním,
- **priepustné**, aby nezväčšovalo vztlak na haťové teleso aj vývar,
- **drsné**, aby „brzdilo“ rýchlosť vodného prúdu a tlmilo prebytok jeho kinetickej energie.

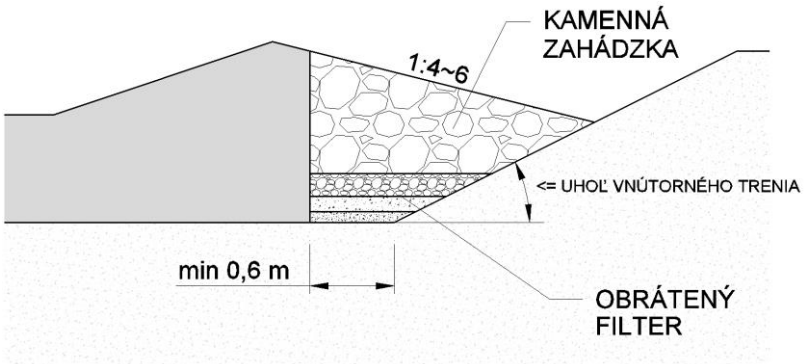
Týmto požiadavkám vyhovujú:

- kamenná zahádzka, alebo dlažba,
- drôteno-kamenné matrace,
- betónové kvádre alebo dosky.

Výber typu opevnenia je daný miestnymi podmienkami a technicko-ekonomickým zhodnotením.

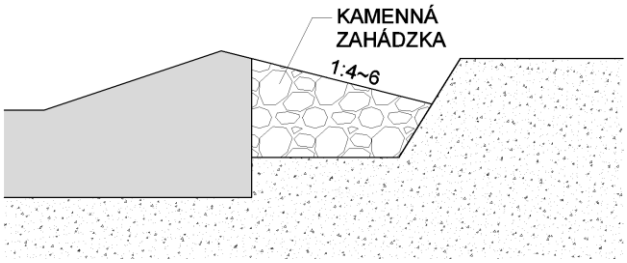
Kamenná zahádzka je najjednoduchší a pri dostatku vhodného miestneho kameňa aj najekonomickejší spôsob opevnenia dna za vývarom. Vyznačuje sa najmä drsným povrchom. Realizuje sa v niekoľkých vrstvách kameňa. V prípade, že je dno toku tvorené jemnozrnným materiálom je kameň uložený na *obrátený* (väčšinou štrkopieskový) *filter* (Obr. *5.47*, Obr. *5.49*), resp. na *geotextíliu* (Obr. 5.50), aby sa zabránilo vyplavovaniu jemných zŕn zeminy spod zahádzky.

V prípade, že dno koryta je tvorené hrubozrnnejším materiálom, nemusí byť pod kamennou zahádzkou podklad (Obr. 5.48). Kamene v hornej vrstve zahádzky bezprostredne za vývarom musia byť veľké (s priemerom $0{,}3$ až $0{,}5$ m) a ťažké. Smerom po prúde sa však ich veľkosť môže zmenšovať úmerne s upokojovaním prúdenia. Približnú veľkosť kameňov zahádzky je možné určiť pomocou vzťahov (4.40) a (4.41) a približnú dĺžku podľa vzťahu (4.42), pričom minimálny priemer sa navrhuje $0{,}3$ m. Stabilitu jednotlivých kameňov je možné zvýšiť ich ukladaním medzi vopred šachovito zabaranené pilóty vo vzdialenosti 1 až 2 m.

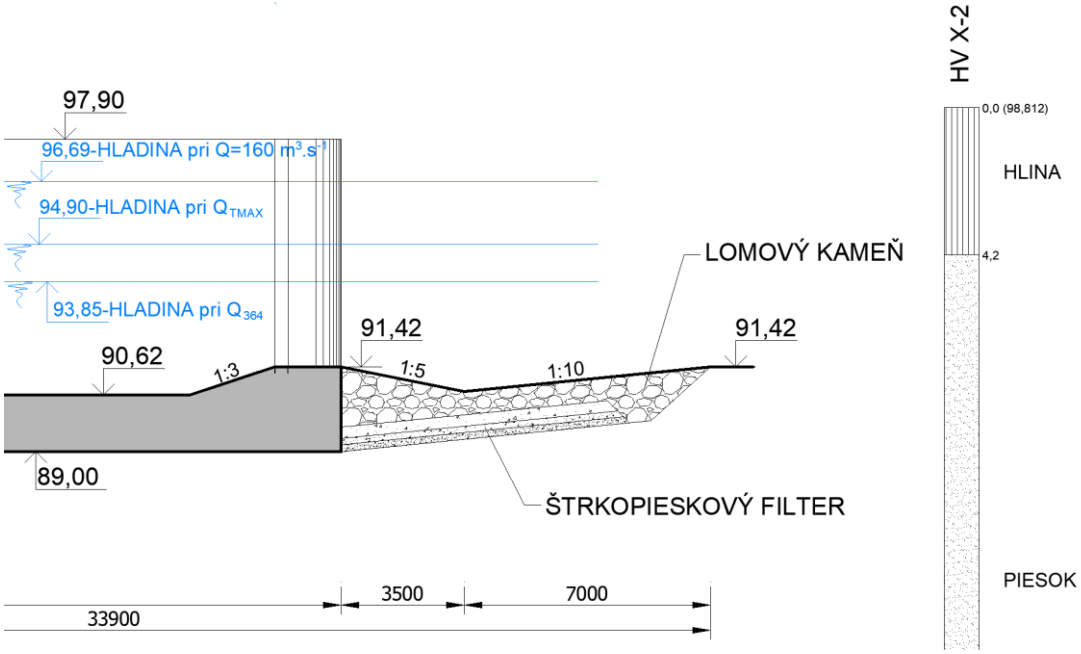


Obr. 5.47 Opevnenie dna koryta za prahom vývaru kamennou zahádzkou – jemnozrný materiál podložia

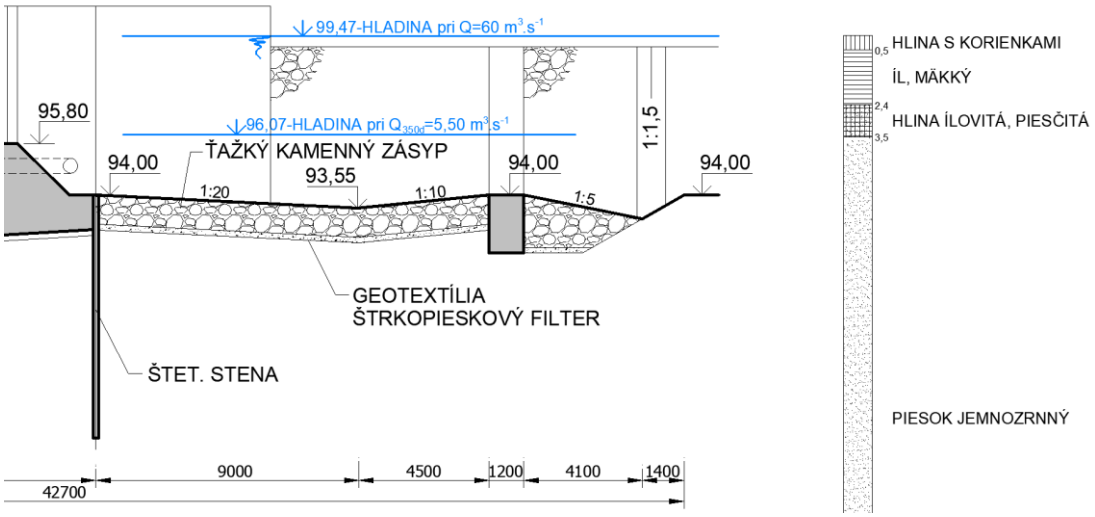
Najjednoduchším a pri dostatku vhodného miestneho kameňa aj najekonomickejším spôsobom opevnenia dna za vývarom je kamenná zahádzka.



Obr. 5.48 Opevnenie dna koryta za prahom vývaru kamennou zahádzkou – hrubozrnný materiál podložia



Obr. 5.49 Opevnenie dna koryta za prahom vývaru kamennou zahádzkou uloženou na obrátenom trojvrstvovom štrkopieskovom filtri – plánovaná hať Vodného diela Ladmovce na Bodrogu



Obr. 5.50 Opevnenie dna koryta za prahom vývaru kamennou zahádzkou uloženou na jednovrstvovom štrkopieskovom filtri s geotextíliou – plánovaná vaková hať Veľké Kapušany na Latorici

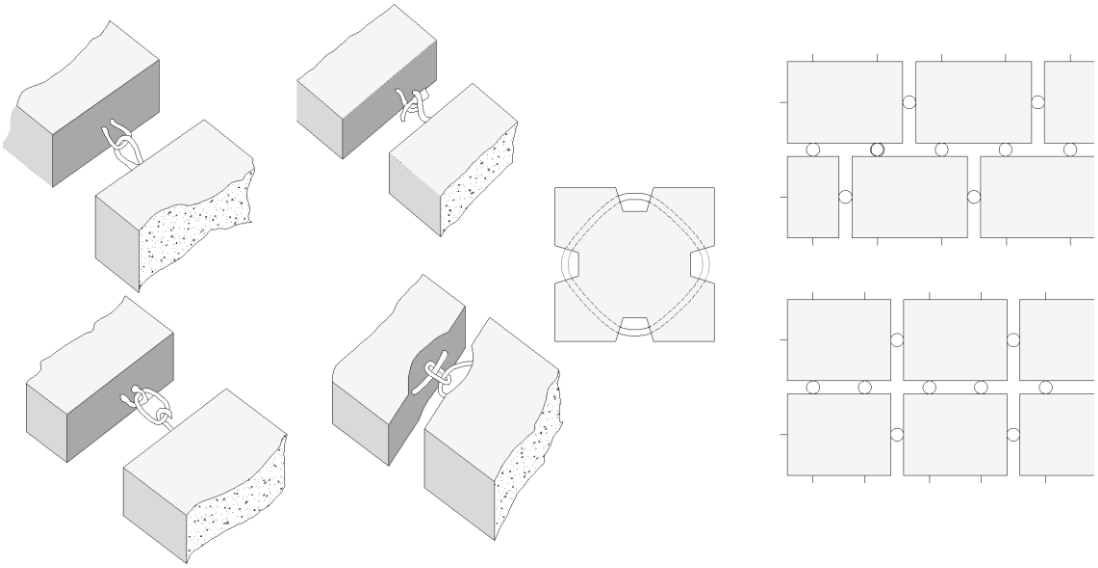
V prípade, že nie je k dispozícii dostatočne veľký kameň na realizáciu kamennej zahádzky používajú sa na opevnenie dna za haťou drôteno-kamenné matrace (gabióny).

Na riekach s dostatočným množstvom štrkopiesku pre výrobu betónu sa na opevnenie dna za haťou používajú betónové kvádre alebo dosky.

Drôteno-kamenné matrace (gabióny) sa používajú v prípade, že nie je k dispozícii dostatočne veľký kameň. V takomto prípade je možné na vyplnenie drôtených gabiónov použiť menšie kusy lomového kameňa, resp. okrúhliaky z riečiska (Obr. 5.51). Gabióny tvoria ťažké a pružné celky. Nevýhodou je, že koše sú obrusované splaveninami a vo vode postupne korodujú, takže sa môžu po určitom čase rozpadnúť.

Obr. 5.51 Gabiónový kôš (Zdroj: wanzhifence.com)

Betónové kvádre alebo dosky sa používajú na riekach s dostatočným množstvom štrkopiesku pre výrobu betónu. Majú obyčajne štvorcový alebo obdĺžnikový pôdorys s rozmermi 2 až 5 m a hrúbkou 0,5 až 1 m. Aby sa zamedzilo vyplavovaniu zeminy medzi škárami blokov, kladú sa na vrstvu štrku, obrátený filter alebo geotextíliu. Výrazne namáhané betónové bloky sa vystužujú a navzájom sa kĺbovite spájajú pomocou výstuže vyčnievajúcej z blokov. Takto vzniká odolné, pružné a zároveň priepustné opevnenie (Obr. 5.52).



Obr. 5.52 Opevnenie dna za vývarom hate betónovými blokmi – spôsoby ich spájania

Najväčšie nebezpečie pre opevnenie brehov sú výmole, ktoré vznikajú v určitej vzdialenosti za prahom vývaru a môžu byť hlbšie ako založenie pätky, o ktoré sa brehové opevnenie opiera.

Zvláštnu pozornosť je nutné venovať aj opevneniu brehov za haťou, a to nielen na tokoch upravovaných súčasne s výstavbou hate, ale aj na tokoch už upravených. Opevnenie brehov by malo byť dostatočne pevné, aby odolávalo namáhaniu spôsobenému vplyvom vyšších rýchlostí a turbulencie prúdu. Zároveň však musí byť aj priepustné, aby voda prúdiaca zeminou za výtokovými krídlami a brehovými piliermi nepôsobila príliš veľkým vztlakom na opevnenie v koryte pod haťou. Na opevnenie brehov za haťou sa najčastejšie používa *kamenná dlažba* (Obr. 5.53), resp. *kamenná dlažba na cementovú maltu s vhodne umiestnenou drenážou* (Obr. *5.54*). Možné je použiť aj *betónové dosky* (Obr. 5.55), resp. *betónové prefabrikáty s odvodňovacími otvormi*.

Obr. 5.53 Príklad opevnenia brehu jednoduchou kamennou dlažbou (Zdroj: archív autora)

Obr. 5.54 Príklad opevnenia brehu kamennou dlažbou na cementovú maltu (Zdroj: rieky.sk)

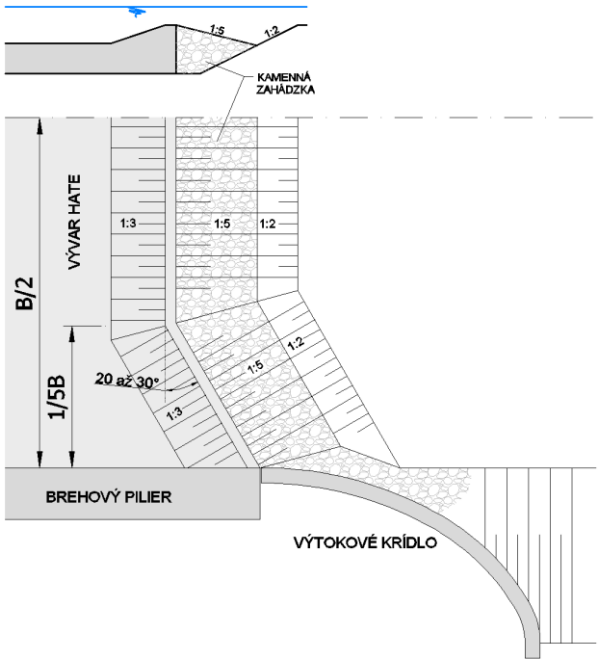
Najväčšie nebezpečie pre opevnenie brehov sú výmole, ktoré vznikajú v určitej vzdialenosti za prahom vývaru a môžu byť hlbšie ako založenie pätky, o ktoré sa brehové opevnenie opiera. Z tohto dôvodu, sa odporúča *pôdorysné zalomenie prahu vývaru* v zmysle Obr. 5.56. Týmto sa zabezpečí odklonenie prúdenia vody od brehov a vytváranie najväčších výmoľov až v určitej vzdialenosti od brehov. Takéto riešenia však má efekt iba v prípade menších hĺbok dolnej vody.

Prechod haťového profilu do profilu koryta pod haťou musí byť pozvoľný, aby pri brehoch nevznikali vírové oblasti s potenciálom prehlbovania výmoľov a zvýšenou mierou namáhania brehového opevnenia.

So zväčšujúcou hĺbkou sa účinnosť zalomenia prahu zmenšuje a odporúča sa navrhovať priamy nezalomený prah vývaru. V takomto prípade sa za výtokovými krídlami, na dĺžku očakávaných najhlbších výmoľov, odporúča miesto kamennej pätky navrhnúť štetovnicovú stenu, na hlavu ktorej sa nabetónuje trám, o ktorý sa brehové opevnenie oprie.

Obr. 5.55 Príklad opevnenia brehu betónovými doskami (Zdroj: rieky.sk, © Plameňák)

Zvláštnu pozornosť si vyžadujú aj hate, ktoré sú širšie ako je šírka dna toku pod haťou. Prechod haťového profilu do profilu koryta pod haťou musí byť pozvoľný s nábehom max. $1:10$. Podobne aj prechod z užšieho profilu hate do širšieho profilu koryta musí byť plynulý a pozvoľný s nábehom $1:6$ až 10, aby pri brehoch nevznikali vírové oblasti s potenciálom prehlbovania výmoľov a zvýšenou mierou namáhania brehového opevnenia.



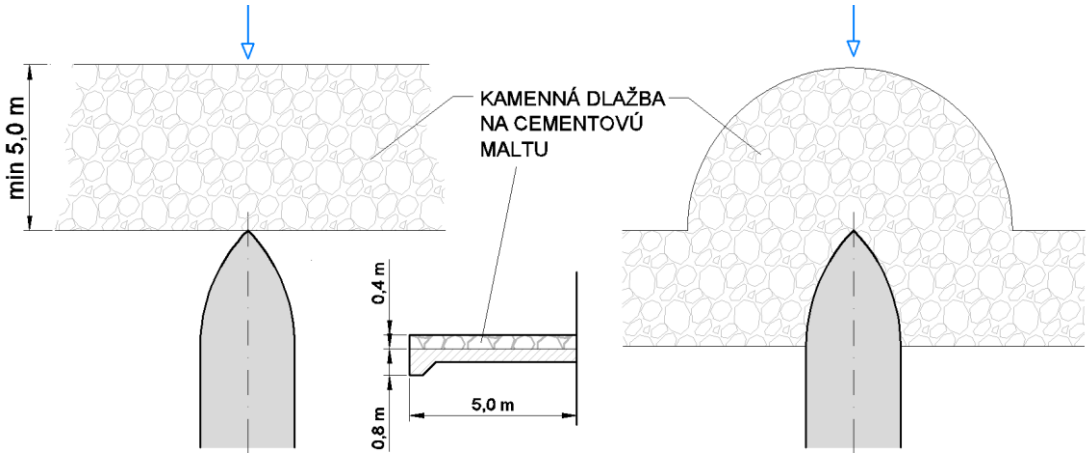
Obr. 5.56 Tvar zalomeného prahu vývaru a opevnenia koryta za prahom

5.4 Opevnenia dna a brehov pred haťou

Nebezpečenstvo vymieľania dna pred haťou vzniká najmä v prípade manipulácie so zdvižnými uzávermi.

Za normálnych prevádzkových podmienok, pri malých a stredných prietokoch, sú hĺbky nad haťou väčšie ako pod haťou; čomu zodpovedajú menšie rýchlosti prúdenia, a tým aj menšie riziko vymieľania dna koryta pred haťou. Vplyvom zníženia rýchlosti dochádza často aj k zanášaniu zdrže nad haťou (Kap. 3.5).

Nebezpečenstvo vymieľania je väčšie v prípade manipulácie so zdvižnými uzávermi, pri ktorých vznikajú vyššie rýchlosti prúdenia pri dne, na rozdiel od uzáverov prepúšťajúcich vodu prepadom. Ako ochranu pred vymieľaním je možné navrhnúť **betónovú dosku**, **kamennú rovnaninu** alebo **dlažbu z dostatočne ťažkého kameňa** vysunutú na dostatočnú vzdialenosť do hornej vody (Obr. 5.57), a to najmä v blízkosti návodného zhlavia pilierov, pri obtekaní ktorých sa zúžením zvyšujú rýchlosti prúdenia. Pri menších rýchlostiach prúdenia je postačujúca aj štrková, resp. kamenná rozprestierka. Z hľadiska prevádzania splavením je však výhodný čo najhladší povrch opevnenia.



Obr. 5.57 Návrh úpravy predhatia v prípade, že nie je použitý protipriesakový koberec

Opevnenie je potrebné navrhnúť aj v prípade protipriesakového koberca (Kap. 5.2.2), ak je navrhnutý z materiálu neodolného proti vymieľaniu (napr. íl).

Pre namáhanie dna koryta pred haťou je nepriaznivá aj nesymetrická manipulácia so zdvižnými uzávermi, napr. vyhradenie hradiaceho uzáveru v jednom haťovom poli na celú hradiacu výšku pri prepúšťaní ľadov. Celý prietok vody je potom sústredený do príslušného poľa, čo znamená podstatné zvýšenie rýchlostí prúdenia pri dne pred haťou. S prepúšťaním vody jedným poľom hate sa je možné stretnúť aj v dobe jej výstavby.

Na predbežné posúdenie stability dna pred haťou je potrebné určiť pre jednotlivé konkrétne prípady rýchlosti prúdenia pred haťou a porovnať ich s nevymieľajúcimi rýchlosťami. Pre určenie nevymieľacích rýchlostí pre súdržné zeminy je možné použiť Tab. 5.2 a pre nesúdržné zeminy Tab. 5.3, ktoré uvádzajú hodnoty nevymieľacích rýchlostí pri hĺbke vody 1 m. Pri hĺbkach iných ako 1 m je nutné uvedené hodnoty prepočítať podľa vzťahu:

$$v_{n\,h} = v_{n\,1}\sqrt[5]{h} \quad [\mathrm{m.s^{-1}}] \qquad (5.6)$$

Nepriepustnosť opevnenia je nevyhnutná najmä v prípade, že haťové teleso je tesnené pomocou predsunutého koberca, ktorý spolu s opevnením tvorí pred haťou nepriepustný žľab.

kde:

$v_{n\,1}$ – je nevymieľacia rýchlosť podľa Tab. 5.2, resp. Tab. 5.3 [m.s^{-1}],

h – hĺbka vody v zdrži nad haťou [m].

Tab. 5.2 Nevymieľacia rýchlosť $v_{n\,1}$ pre súdržné zeminy

Zemina	Obsah častíc [%]		Nevymieľacia rýchlosť $v_{n\,h}$ [m.s^{-1}] pre zeminu			
	< 0,005 mm	0,005 až 0,5 mm	málo hutnú	stredne hutnú	hutnú	veľmi hutnú
íly	30 – 50	70 – 50	0,4	0,85	1,20	1,70
ťažké hliny	20 – 30	80 – 70	0,4	0,85	1,20	1,70
ľahké hliny	10 – 20	90 – 80	0,4	0,80	1,20	1,70
spraše				0,70	1,00	1,30

Tab. 5.3 Nevymieľacia rýchlosť $v_{n\,1}$ pre nesúdržné zeminy

Zemina	Rozmery zŕn [mm]	Nevymieľacia rýchlosť $v_{n\,h}$ [m.s^{-1}]
bahno a prach	0,005 – 0,05	0,2 – 0,3
jemný piesok	0,05 – 0,25	0,3 – 0,45
stredný piesok	0,25 – 1,00	0,45 – 0,60
hrubý piesok	1,00 – 2,50	0,60 – 0,75
drobný okrúhliak	2,5 – 5,0	0,75 – 0,85
stredný okrúhliak	5,0 – 10,0	0,85 – 1,05
hrubý okrúhliak	10,0 – 15,0	1,05 – 1,20
drobné valúny	15,0 – 25,0	1,20 – 1,45
stredné valúny	25,0 – 40,0	1,45 – 1,85
hrubé valúny	40,0 – 75,0	1,85 – 2,40
drobné kamene	75,0 – 100,0	2,40 – 2,80
stredné kamene	100,0 – 150,0	2,80 – 3,35
hrubé kamene	150,0 – 200,0	3,35 – 3,80
menšie balvany	200,0 – 300,0	3,80 – 4,35
stredné balvany	300,0 – 400,0	4,35 – 4,75

V súvislosti s opevnením dna pred haťou treba venovať pozornosť aj opevneniu brehov zdrže nad haťou.

V prípade, že je hať navrhovaná na *neupravenom toku*, je nutné navrhnúť vhodné opevnenie brehov na dostatočnej dĺžke pred haťou. Taktiež je nutné preveriť, či trvalým zvýšením hladiny nehrozí porušenie stability brehov, resp. či stabilita brehov nie je ohrozená rozvlnením hladiny v zdrži vplyvom vetra.

V prípade, že je hať navrhovaná na už *upravenom toku* s ľahkým opevnením, je nutné toto opevnenie nahradiť ťažkým opevnením, pretože pri trvalom zvýšení hladiny nad haťou ľahké opevnenia vyhnívajú a drolia sa, pričom strácajú schopnosť odolávať účinkom prúdiacej vody a účinkom vetrových vĺn. Pri súčasnej výstavbe hate a úprave toku je dôležité, aby napojenie opevnenia brehov na brehové krídla bolo nepriepustné a súčasne bolo nepriepustné aj samotné opevnenie (kamenná dlažba na cementovú maltu, betónové dosky, betónové obklady a pod.). Nepriepustnosť opevnenia je nevyhnutné najmä v prípade, že haťové teleso je tesnené pomocou predsunutého koberca, ktorý spolu s opevnením tvorí pred haťou nepriepustný žľab (Kap. 5.2.3).

5.5 Deliace piliere

Ideálne je navrhnúť obrys piliera hladký, bez výstupkov a drážok.

Deliace piliere hate slúžia na oddelenie jednotlivých haťových polí. Ich tvar (najmä tvar predného, resp. zadného zhlavia) má výrazný vplyv na kapacitu hate, na hladinu v zdrži nad haťou, na vznik vírových oblastí a následnej tvorbe výmoľov, či už pred predných alebo za zadným zhlavím piliera. Bližšie je problematika návrhu tvaru brehových pilierov a krídiel popísaná v Kap. 4.4.1.

Pre predbežný návrh šírky deliaceho piliera, ktorý z titulu použitia uzáveru nepotrebuje zvislé drážky, napr. klapka, segment (Obr. 5.58), je možné pre svetlé šírky b_1 haťových polí použiť odporúčania podľa Berezinského [3]:

$$\begin{aligned} b_1 = 10\,m &\rightarrow d = 0{,}20 \sim 0{,}25 b_1 \\ b_1 = 20\,m &\rightarrow d = 0{,}12 \sim 0{,}16 b_1 \\ b_1 = 30\,m &\rightarrow d = 0{,}10 \sim 0{,}13 b_1 \end{aligned} \qquad (5.7)$$

Horné hodnoty údajov sa vzťahujú k hradiacim výškam > 7 m. Dolné hranice k hradiacim výškam < 3 m.

Vzhľadom na to, že drážky v pilieroch rozrušujú prúdenia a majú, najmä pri vyšších rýchlostiach prúdenia vody, nepriaznivý vplyv na kapacitu hate, je vhodné obrys piliera navrhnúť hladký, bez výstupkov a drážok. Okrem toho v drážkach, ktoré sú namáhané a odierané unášanými predmetmi pri prúdení vody vzniká podtlak, ktorý môže spôsobiť chvenie konštrukcie. Niektoré typy konštrukcií však drážky vyžadujú, preto je vhodné ich nepriaznivý vplyv obmedziť napr. vhodným konštrukčným riešením drážok alebo ich vyplnením vyberateľnými zvislými oceľovými prvkami.

Balcerski [1] udáva pre minimálnu šírku piliera v závislosti od svetlej šírky haťového poľa b_1 v metroch nasledovné vzťahy:

segmentový a klapkový uzáver	$d = 0{,}8\sqrt{b_1} - 0{,}20$ [m]	(5.8)
stavidlový uzáver	$d = 0{,}9\sqrt{b_1} - 0{,}35$ [m]	
valcový uzáver	$d = \sqrt{b_1} + 0{,}20$ [m]	

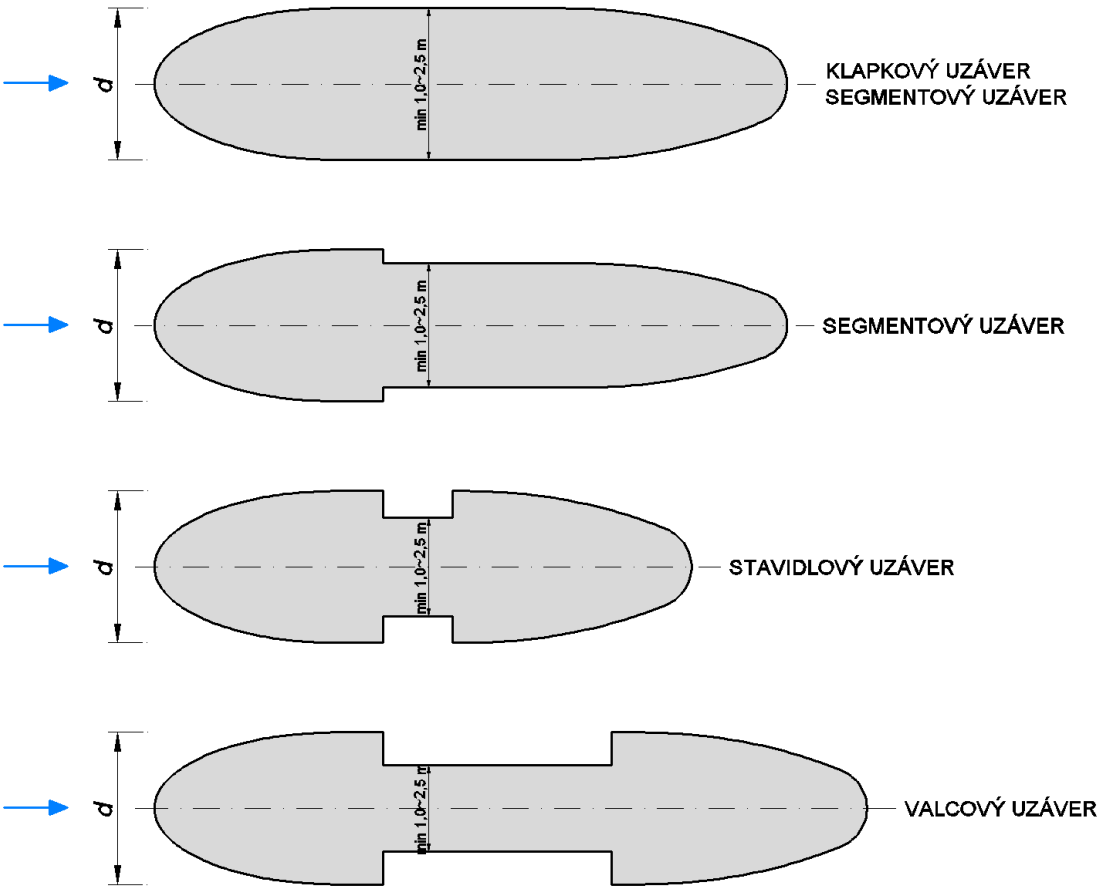
Typické tvary deliacich pilierov sú pre jednotlivé typy uzáverov znázornené na Obr. 5.58.

Časť piliera medzi drážkami nemá byť užšia ako 1,0 až 1,5 m pre nižšie hradiace výšky (do cca 3 m) a 2,0 až 2,5 m pre vyššie hradiace výšky (Obr. 5.58). V prípade, že je pilier delený v strede pozdĺžnou dilatačnou škárou zväčšuje sa jeho šírka o 0,5 až 1,0 m.

Na šírku deliaceho piliera má vplyv aj to, či budú na pilieri umiestnené mechanické zdvíhadlá so všetkým strojným zariadením. V takomto prípade je šírka piliera väčšinou 3,5 až 4 m. Pri veľkých svetlých šírkach haťových polí a veľkých hradiacich výškach (nad 7 m) môže pilier, s ohľadom na jeho stabilitu, dosahovať šírku aj viac ako 6 m.

V prípade, že na štrkonosnom toku predĺžime deliace piliere až na koniec vývarového prahu alebo si toto predĺženie vyžaduje umiestnenie provizórneho hradenia proti dolnej vode, môžu byť piliere v tejto predĺženej časti užšie (a aj nižšie) v porovnaní s šírkou piliera v priestore uzáverov.

Deliace piliere sa navrhujú čo najkratšie.



Obr. 5.58 Pilier prúdnicového tvaru prispôsobený rôznym typom pohyblivých uzáverov

Dĺžka deliacich pilierov je ovplyvnená najmä typom použitých pohyblivých uzáverov a typom provizórneho hradenia, pričom minimálna vzdialenosť medzi drážkami uzáveru a drážkami provizórneho hradenia je 1,5 m (Obr. 4.15). Dĺžka priamej časti medzi predným a zadným zhlavím piliera závisí od spôsobu pohybu uzáveru a od jeho bočného tesnenia. Častou požiadavkou je to, aby hradiaci uzáver tesnil v každej polohe.

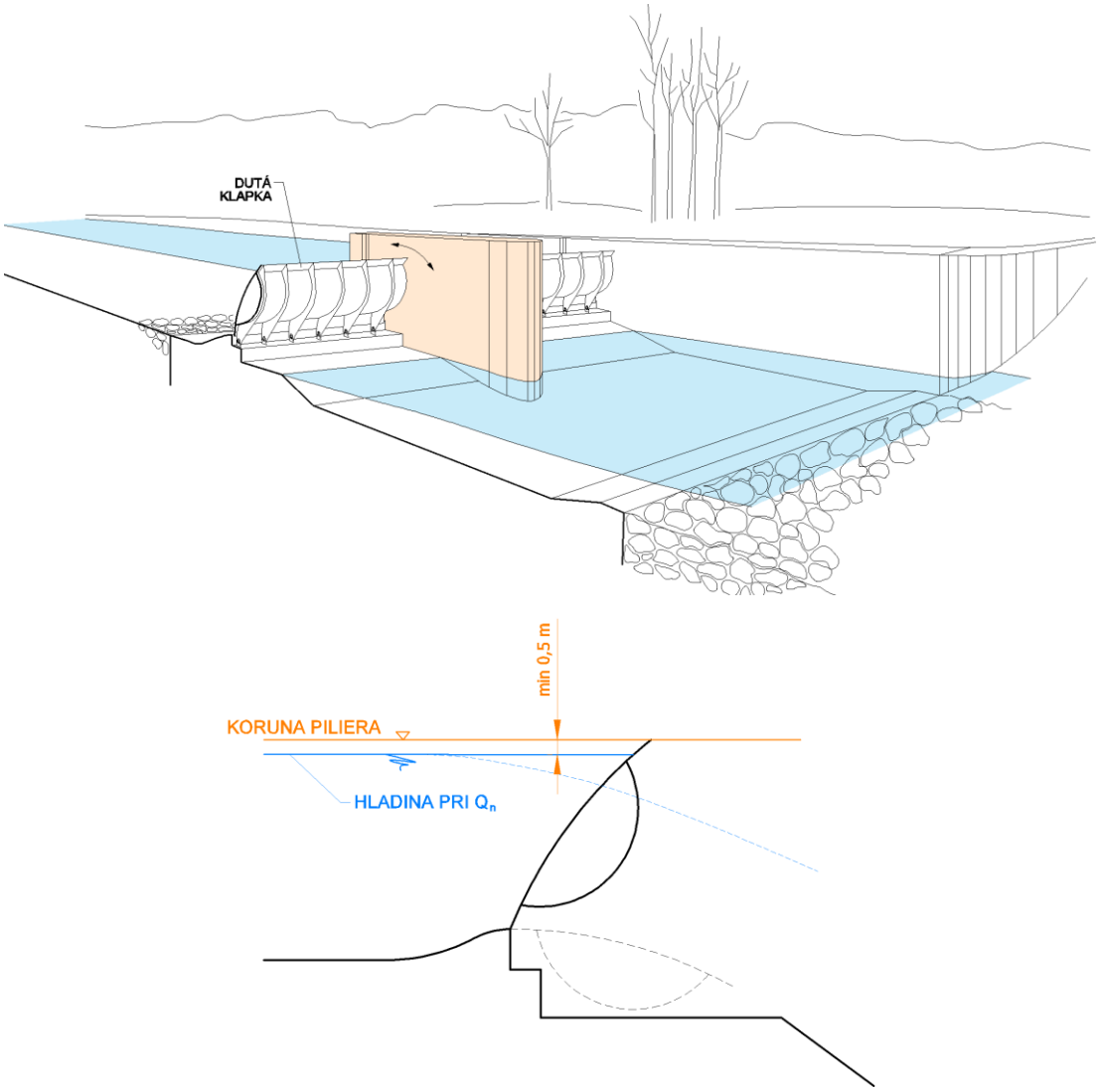
Dĺžka piliera závisí aj od hydraulického charakteru vodného toku. Pri štrkonosných tokoch sa ukončenie deliaceho piliera navrhuje až na koniec vývarového prahu (Obr. 5.31) z dôvodu eliminácie obrusovania vývarovej dosky štrkom, ku ktorému by prichádzalo v priestore spätného vírenia vznikajúceho bezprostredne za zadným zhlavím piliera. Pokiaľ však nie je takéto riešenie nevyhnutné, navrhujú sa deliace piliere čo najkratšie (Obr. 5.37). Pre zjednodušenie výstavby piliera je výhodné odsadiť predné zhlavie smerom po prúde (Obr. 5.23, Obr. 5.31). Z podobných dôvodov je vhodné ukončiť zadné zhlavie piliera v jednej rovine s dilatačnou škárou medzi spodnou stavbou a vývarovou doskou (Obr. 5.23).

Výška deliacich pilierov je ovplyvnená typom hradiacej konštrukcie a spôsobom jej ovládania.

V prípade *sklopných uzáverov* je možné navrhnúť relatívne nízke, do krajiny ľahko začleniteľné piliere, ktoré môžu byť pri prechode veľkých vôd dokonca prelievané. Prevýšenie piliera

Časti strojovne ovládacích prkov uzáverov, v ktorých sa nachádza olejové hospodárstvo nesmie byť pri Q_{100} zatopená.

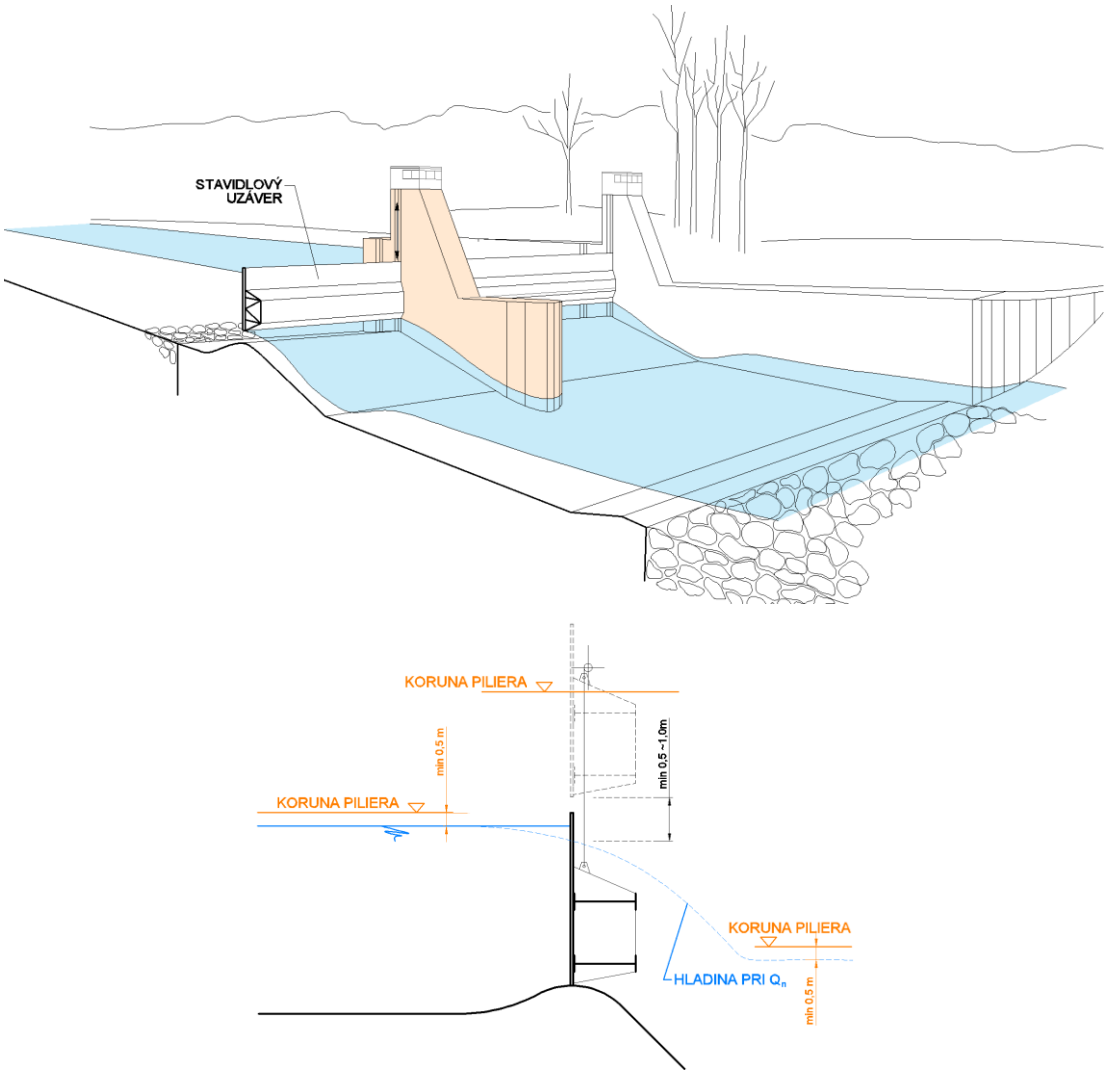
nad hladinou stáleho vzdutia sa navrhuje $0{,}5$ a $1{,}0$ m (Obr. 5.59), resp. závisí od spôsobu a umiestnenia ovládania (Kap. 8.3.6).



Obr. 5.59 Schéma pre stanovenie výšky deliaceho piliera pri použití klapkového uzáveru

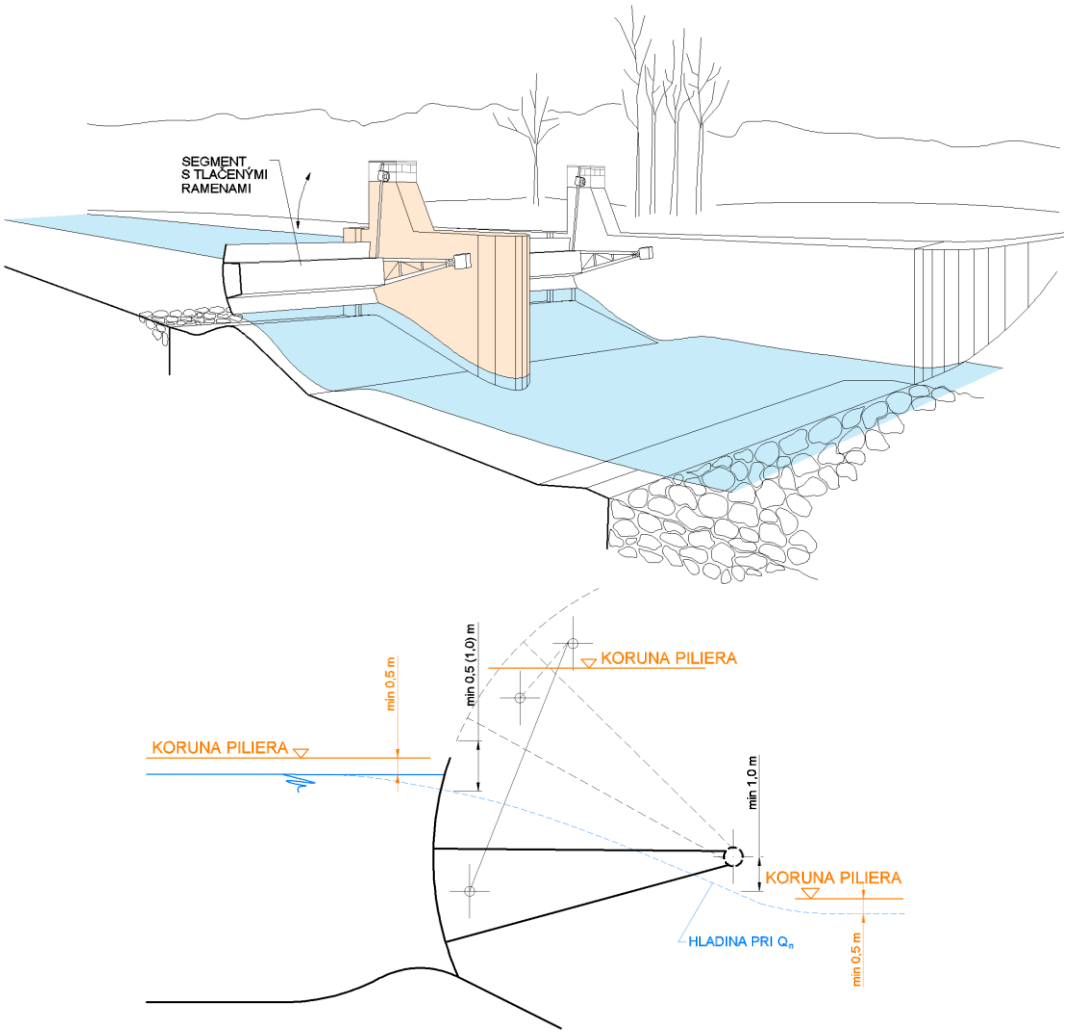
V prípade *zdvižných uzáverov* (napr. zdvižné stavidlá, zdvižné segmenty) je výška piliera určená požiadavkou, aby spodná hrana vyhradeného uzáveru bolo najmenej $0{,}5$ m nad hladinou vody pri návrhového prietoku Q_n. Ak však hrozí nebezpečenstvo, že počas veľkých prietokov sa budú plaviť kmene stromov a veľké ľadové kryhy, musí byť spodná hrana vyhradeného hradiaceho telesa minimálne $1{,}0$ m nad hladinou Q_n. S touto požiadavkou treba uvažovať pri umiestnení zdvíhacieho mechanizmu na korune piliera a polohe ovládacieho alebo závesného prvku na hradiacom telese. Rovnaké požiadavky platia aj pre spodnú hranu premostenia hate. Taktiež strojovňa ovládacích prvkov uzáverov nesmie byť pri Q_{100} zatopená (a to najmä časti strojovne, v ktorých sa nachádza olejové hospodárstvo). Výška piliera nemusí byť po celej jeho dĺžke konštantná a je ju možné (najmä z ekonomických dôvodov) výškovo prispôsobiť ako typu uzáveru, tak aj úrovni hladiny pri návrhovom prietoku v dolnej vode (Obr. 5.60 až Obr. 5.63).

Výška piliera nemusí byť po celej jeho dĺžke konštantná a je ju možné výškovo prispôsobiť ako typu uzáveru, tak aj úrovni hladiny pri návrhovom prietoku v dolnej vode.



Obr. 5.60 Schéma pre stanovenie výšky piliera pri použití stavidlového uzáveru

Obr. 5.61 Stavidlový (dvojitý) uzáver hate Vodné diela Vrané nad Vltavou, ČR (Zdroj: cez.cz)



Obr. 5.62 Schéma pre stanovenie výšky piliera pri použití segmentového uzáveru

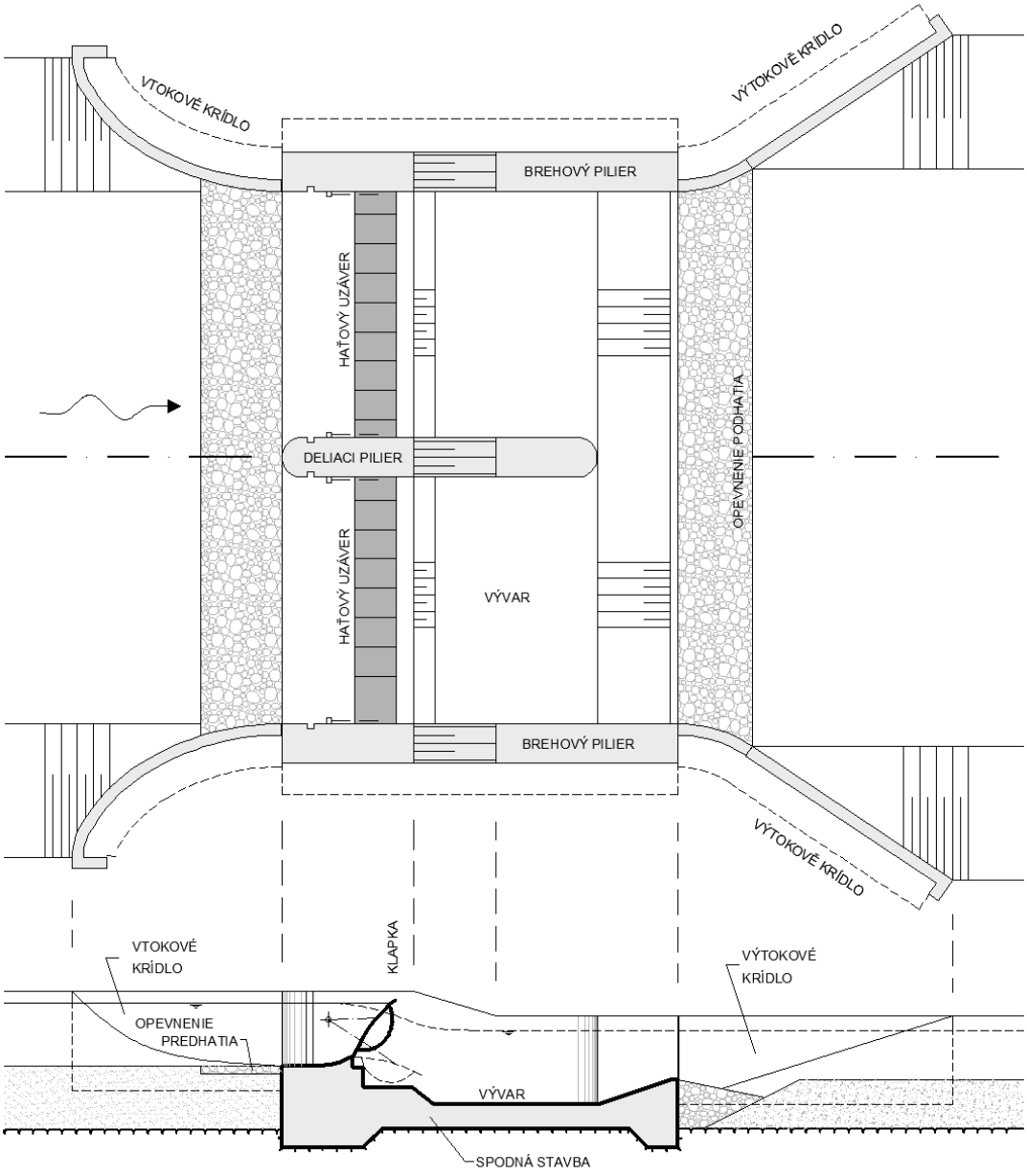
Obr. 5.63 Segmentový uzáver hate MVE Bulhary na rieke Dyje, ČR (Zdroj: archív autora)

5.6 Brehové piliere a krídla

Účelom brehového piliera je:

- poskytnúť oporu pre pohyblivý uzáver krajného haťového poľa a
- spolu s brehovými krídlami:
  - zabrániť filtrácii podzemnej vody okolo hate, resp. ju zmierniť,
  - usmerniť vodu čo najplynulejšie (s čo najmenšou bočnou kontrakciou) do haťového otvoru a následne do dolnej zdrže a chrániť breh pred účinkami prúdiacej vody.

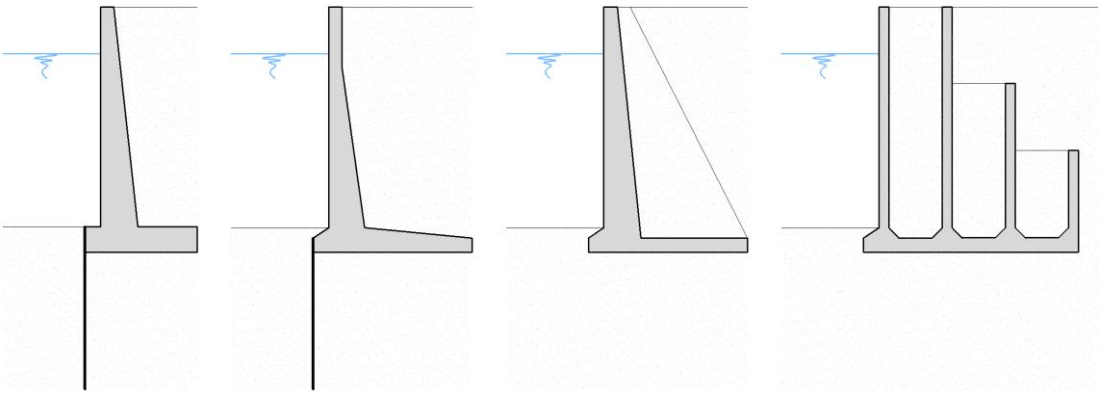
Bližšie je problematika návrhu tvaru brehových pilierov a krídiel popísaná v Kap. 4.4.1.



Obr. 5.64 Zaviazanie hate do brehov vtokovými a výtokovými brehovými krídlami

Z konštrukčného hľadiska (umiestnenie drážok, výška piliera) platia pre *brehové piliere* podobné zásady ako pre deliace piliere (Kap. 5.5). Okrem toho musia brehové piliere plniť aj funkciu oporného múru, na ktorý sa prenáša tlak bezprostredne nadväzujúceho terénu. Brehové piliere sa väčšinou umiestňujú do miesta zlomu medzi dnom a svahom koryta toku (Obr. 5.64).

Konštrukcia *brehových (vtokových a výtokových) krídiel* je podobná ako konštrukcia brehových pilierov. Navrhujú sa obyčajne ako masívne oporné železobetónové oporné múry, uhlového prípadne komôrkového tvaru tak, aby bolo možné využiť priťažujúci účinok zeminy (Obr. 5.65). Po výške môžu byť krídla vystužené rebrami. Od vlastného brehového piliera sú krídla oddelené dilatačnou škárou. Krídla musia byť dôkladne zaviazané do brehu, aby nedochádzalo k nežiadúcim priesakom okolo hate. Hĺbka založenia brehových krídiel závisí od geologických pomerov a požiadaviek účelného pripojenia na nepriepustný koberec nad haťou, resp. na tesniacu clonu (Kap. 5.2.3).



Obr. 5.65 Konštrukčné riešenie brehových krídiel hate

Dilatačné škáry sú vedené v priečnom smere (t. j. v smere rovnobežnom s prúdením vody cez hať) a v pozdĺžnom smere (t. j. v kolmom na prúdenie) vo vzdialenostiach 10 až 20 m (výnimočne aj 30 m).

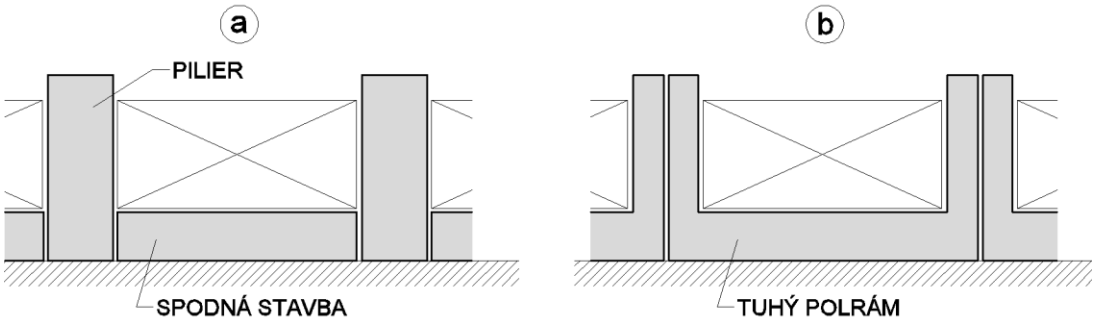
5.7 Členenie hate dilatačnými škárami

Hate menších rozmerov je možné (najmä na únosnom podloží) vytvoriť pomocou monolitickej konštrukcie. V prípade väčších hatí, je vzhľadom na vznik trhlín v betóne vznikajúcich vplyvom objemových zmien pri zmenách teploty alebo vplyvom nerovnomerného sadania hate, nevyhnutné rozdeliť haťové teleso na samostatne staticky pôsobiace nezávislé časti – *bloky*. Bloky sú navzájom oddelené tzv. *dilatačnými škárami*, tak aby umožňovali nezávislý pohyb jednotlivých blokov.

Dilatačné škáry sú vedené v priečnom smere (t. j. v smere rovnobežnom s prúdením vody cez hať) a v pozdĺžnom smere (t. j. v kolmom na prúdenie) vo vzdialenostiach 10 až 20 m (výnimočne aj 30 m).

Priečne dilatačné škáry zvyčajne oddeľujú haťové teleso od pilierov (Obr. 5.66a) alebo sú umiestnené v osi piliera (Obr. 5.66, Obr. 5.70). Šírka takto dilatovaných pilierov však musí byť väčšia (Kap. 5.5).

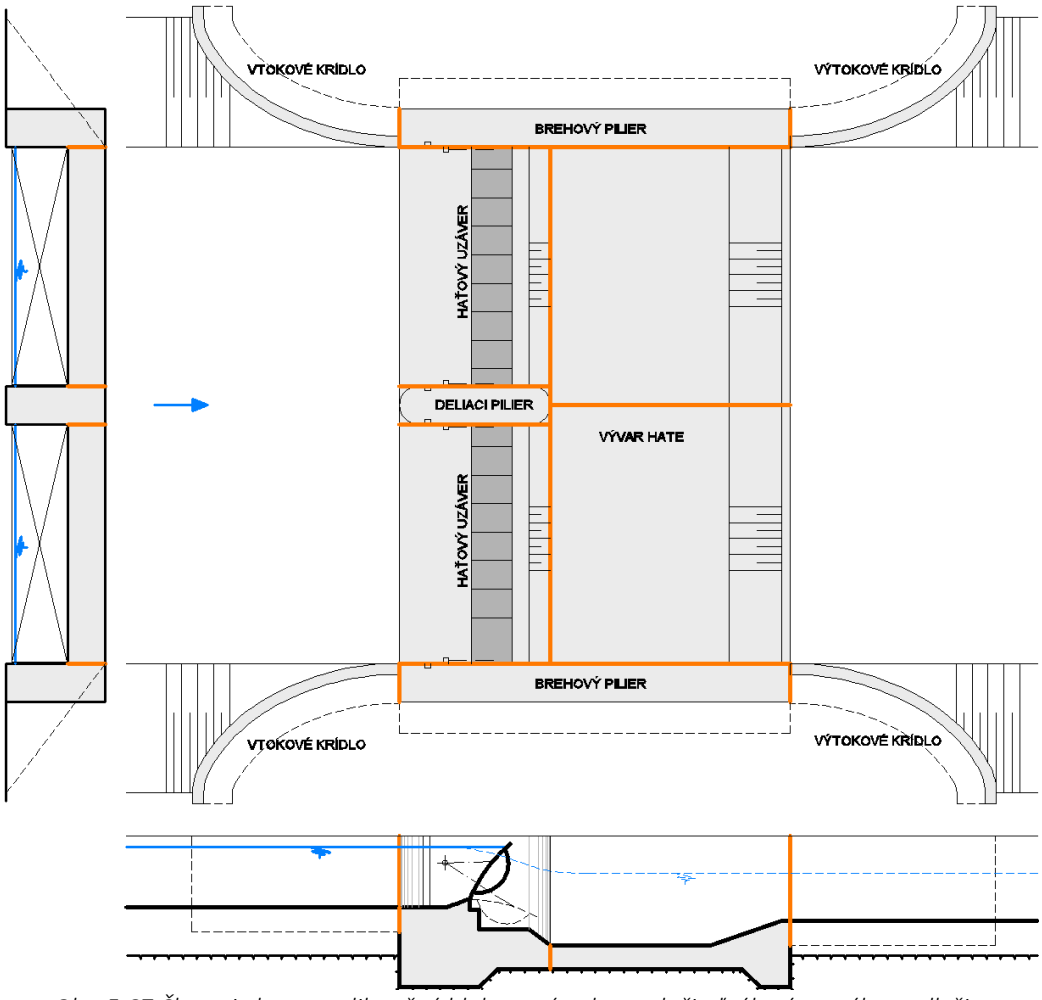
V pozdĺžnom smere dilatačné škáry zvyčajne oddeľujú vývar od samotnej spodnej stavby hate. Dilatačné škáry tak isto oddeľujú aj brehové krídla od brehových pilierov.



Obr. 5.66 Umiestnenie priečnych dilatačných škár pri: a – nestlačiteľnom a b – stlačiteľnom podloží

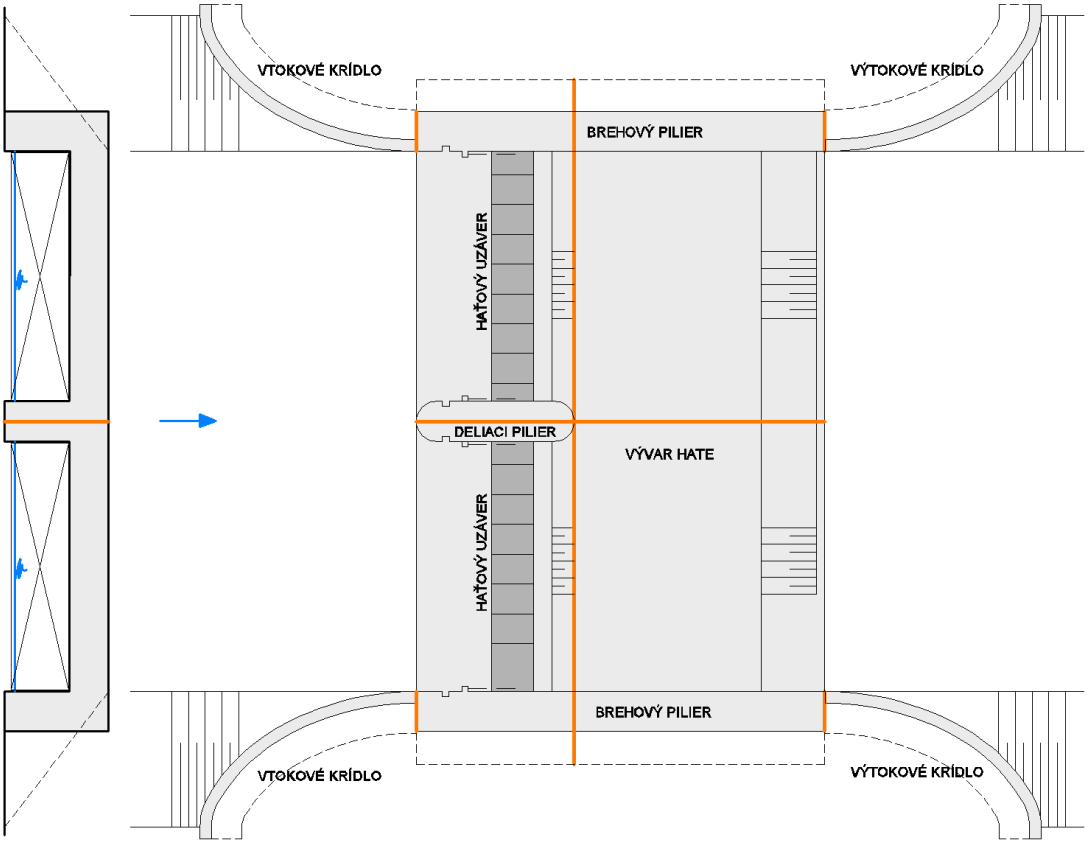
Členenie hate na dilatačné bloky závisí najmä od charakteru podložia.

V prípade *skalného alebo únosného podložia* je vhodné oddeliť priečnou dilatačnou škárou pilier od spodnej stavby (Obr. 5.66a, Obr. 5.67). Takéto riešenie je vhodné v prípade, že hmotnosť pilierov (napriek ich malej základovej ploche) nevyvolá napätie presahujúce únosnosť podložia. Sadnutie a prípadné naklonenie pilierov (nerovnomerným sadnutím) by mohlo spôsobiť poruchu konštrukcie uzáverov a znemožniť manipuláciu s nimi.



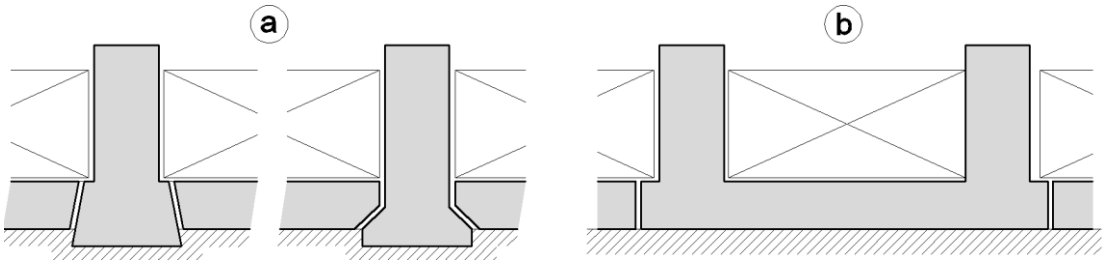
Obr. 5.67 Členenie hate na dilatačné bloky v prípade nestlačiteľného únosného podložia

V prípade *neúnosného stlačiteľného podložia* je vhodné dilatačné škáry viesť stredom piliera/ov, čo umožňuje tuhé spojenie piliera/ov so spodnou stavbou (Obr. 5.66b). Vytvorením tzv. tuhých polrámov sa **zmenší napätie v základovej škáre** (tiaž je rozložená na väčšiu plochu), t. z., že sadnutie polrámu je omnoho menšie. Tuhý polrám zabezpečuje to, že sa konštrukcia haťového uzáveru nevzprieči, čo zaistí bezproblémový pohyb uzáveru aj pri sadnutí konštrukcie.



Obr. 5.68 Členenie hate na dilatačné bloky v prípade stlačiteľného neúnosného podložia

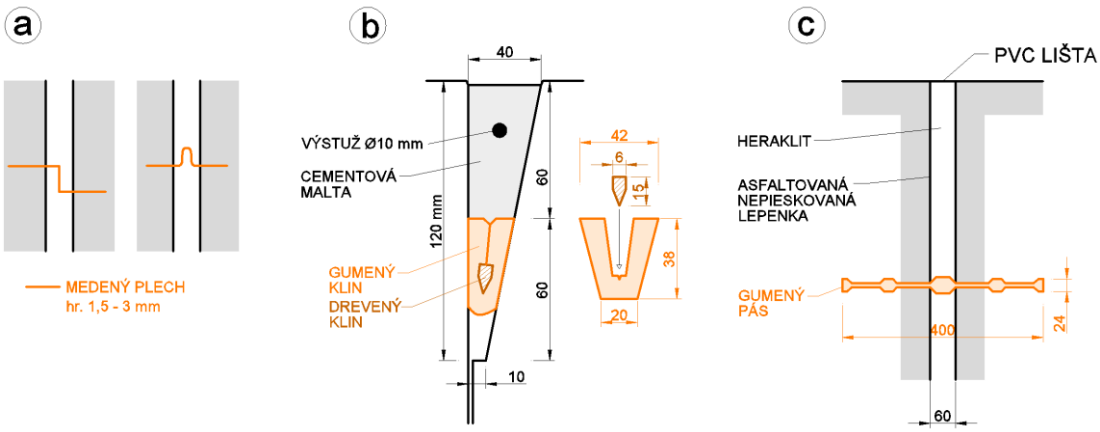
Zníženie napätia v základovej škáre je možné dosiahnuť aj rozšírením základovej pätky pilierov (Obr. 5.69a) alebo umiestnením dilatačných škár v každom druhom poli, ak to rozmery polí z hľadiska rozťažnosti dovolia (Obr. 5.69b).



Obr. 5.69 Ďalšie varianty umiestnenia dilatačných škár pre zmenšenie napätia v základovej škáre

Obr. 5.70 Príklad priečnej dilatačnej škáry vedenej v strede piliera na hati Lhotka na Odre, ČR (šírka haťového poľa 20 m) – (Zdroj: pt.mc-bauchemie.cz)

Vzhľadom na to, že dilatačné škáry porušujú vodotesnosť konštrukcie, je ich nutné utesniť. Pri starších hatiach boli škáry tesnené ílom, medenými alebo zinkovými plechmi (Obr. 5.71a) alebo asfaltom. Dnes sa na tesnenie dilatačných škár používajú najmä gumové kliny alebo gumové pásy. Gumový klin sa spolu s dreveným klinom vtlačia do rozšíreného začiatku dilatačnej škáry, ktorej steny sú natrené asfaltom, a prekryjú sa cementovou maltou (Obr. *5.71*b). K tesneniu dilatačných škár vyšších hatí sa používajú najmä gumové pásy, ktoré sa umiestňujú na návodnej strane dilatačnej škáry (Obr. 5.71c). Nevýhodou použitia gumy je to, že pri nedostatočnej ochrane dochádza vplyvom ultrafialového žiarenia k jej znehodnocovaniu a poškodeniu (Obr. 5.72).



Obr. 5.71 Spôsoby tesnenia dilatačných škár

Obr. 5.72 Priesak cez pilier hate Drahovce na Váhu spôsobený poškodením gumového pásového tesnenia dilatačnej škáry (rok 2010) – (Zdroj: pnky.sk)

Kontrolné otázky

Ako stanovíme orientačnú návrhovú dĺžku zvislých tesniacich prvkov?

Aké sú zásady konštrukčného návrhu zvislých tesniacich prvkov?

Aké sú základné typy zvislých tesniacich prvkov a aký je spôsob ich realizácie?

Aké sú zásady konštrukčného návrhu vodorovných tesniacich prvkov?

Aký spôsobom sa realizujú opatrenia proti priesaku okolo brehových krídiel?

Aké sú spôsoby opevnenia dna a brehov za podhatím (vývarom)?

Aké sú spôsoby opevnenia dna a brehov pred haťou?

Aké sú zásady konštrukčného návrhu deliacich pilierov (šírka, dĺžka, výška)?

Aké sú zásady konštrukčného návrhu brehových pilierov a krídiel?

Na základe akých princípov sa člení hať na dilatačné bloky?

Akým spôsobom je možné tesniť dilatačné škáry?

6 Posúdenie stavebných častí hate

Vzhľadom na to, že každá hať je jedinečná, navrhovaná na rôzne účeli, s rôznymi parametrami a v odlišných podmienkach, nie je možné pri jej návrhu a výstavbe uplatniť plnú unifikáciu.

Hať, tak ako každý stavebný objekt, musí odolať zaťaženiu všetkými silami, ktoré na ňu pôsobia. Zároveň jej návrh musí byť hospodárny (hať nemá byť predimenzovaná), aby náklady na jej výstavbu neboli „zbytočne“ vysoké.

Vzhľadom na to, že každá hať je jedinečná, navrhovaná na rôzne účely, s rôznymi parametrami a v odlišných podmienkach, nie je možné pri jej návrhu a výstavbe uplatniť plnú unifikáciu. Tá sa môže týkať len niektorých častí hate, a to najmä technológie, napr. pohyblivé uzávery (Kap. 8), resp. provizórne hradenia (Kap. 9).

Návrh hate obyčajne pozostáva z viacerých krokov:

Krok 1: *Vstupný návrh hate sa vykoná podľa empirických pravidiel na základe*:

- účelu hate,
- podmienok zakladania,
- hydrologických pomerov,
- prevádzkových podmienok a pod.

Krok 2: *Vstupný návrh sa staticky posúdi* (Kap. 6.2) *a na základe tohto posúdenia sa návrh koriguje. V prípade, že konštrukcia alebo jej časti nevyhovujú posúdeniu, je nutné ich „zosilniť“. V prípade, že je konštrukcia zbytočne predimenzovaná, zo vstupného návrhu sa „uberá“.*

Na hať môžu pôsobiť sily rôzneho pôvodu, z nich niektoré sú pre tento druh vodných stavieb typické a inde sa nevyskytujú (napr. tlak vody).

Sily, ktoré pôsobia na hať sa nazývajú zaťaženie.

Hať musí vykazovať stabilitu pre všetky reálne zaťažovacie stavy, ktoré sa môžu počas výstavby a prevádzky hate vyskytnúť.

Druhy prevádzky a reálne kombinácie síl, ktoré pôsobia na hať počas jej výstavby a prevádzky, sa nazývajú zaťažovacie stavy (Kap. Voľba zaťažovacích stavov6.2.1), pričom **hať musí vykázať stabilitu pre všetky zaťažovacie stavy**.

6.1 Zaťaženie pôsobiace na hať

Pre posúdenie stavebných častí hatí sú jednými z najdôležitejších krokov:

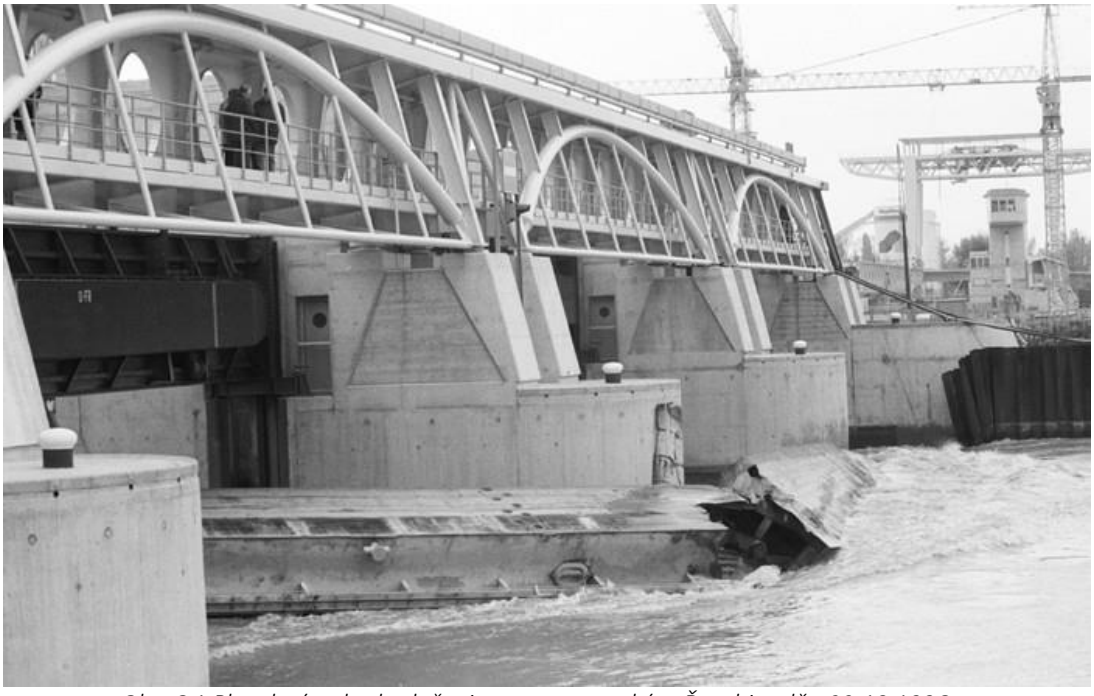
- stanovenie zaťaženia, ktoré pôsobí na konštrukciu,
- stanovenie najnepriaznivejšej reálnej kombinácie zaťažení.

Na hať môžu pôsobiť sily rôzneho pôvodu, z nich niektoré sú pre tento druh vodných stavieb typické a inde sa nevyskytujú (napr. tlak vody). Niektoré sily pôsobia na hať počas celej životnosti hate, niektoré pôsobia dočasne alebo menia svoju veľkosť. Iné sily, resp. ich veľkosti pôsobia na hať počas výstavby, iné počas prevádzky pri nízkych prietokoch, iné počas povodňových prietokov či počas opráv hate.

Zaťaženie je preto možné rozdeliť do viacerých skupín, a to:

- stále (pôsobí na hať permanentne)
  - vlastná tiaž konštrukcie spodnej stavby, pilierov a brehových krídel,
  - tiaž uzáverov a ostatnej technológie,
  - zemný tlak.

- náhodné
  - *dlhodobé*
    - sily a momenty vyvolané tlakom vody,
    - tlak presakujúcej vody (vztlak na spodný obrys hate),
    - tlak nánosov,
    - nerovnomerné sadanie,
    - tiaž demontovateľného zariadenia,
    - sily vyvolané tepelnými zmenami objemu konštrukcií;
  - *krátkodobé*
    - tlak ľadu,
    - pôsobenie vetra,
    - pôsobenie vĺn,
    - dopravné prostriedky a mechanizmy (žeriavy a ich bremená),
    - sneh;
  - *mimoriadne*
    - sily vyvolané napr. extrémnym vodným tlakom počas povodní,
    - zemetrasenie,
    - deformácia podložia,
    - náraz plavidla (Obr. 6.1).



Obr. 6.1 Plavebná nehoda tlačnej zostavy remorkéra Ďumbier dňa 22.10.1996 na Vodnom diele Freudenau na rieke Dunaj, Rakúsko (Zdroj: tvnoviny.sk)

V ďalšom texte sú uvedené najčastejšie zaťaženia pôsobiace na konštrukciu hate.

6.1.1 Vlastná tiaž konštrukcie

Vlastná tiaž konštrukcie hate má charakter *stáleho* a *staticky* pôsobiaceho zaťaženia. Vlastná charakteristická (normová) tiaž jednotlivých častí hate (Obr. 6.2) sa vypočíta prenásobením objemu príslušnej časti s jej objemovou tiažou.

$$G = \gamma V \quad [\text{kN}] \tag{6.1}$$

kde:

γ – objemová tiaž materiálu konštrukcie, ktorá je pre:

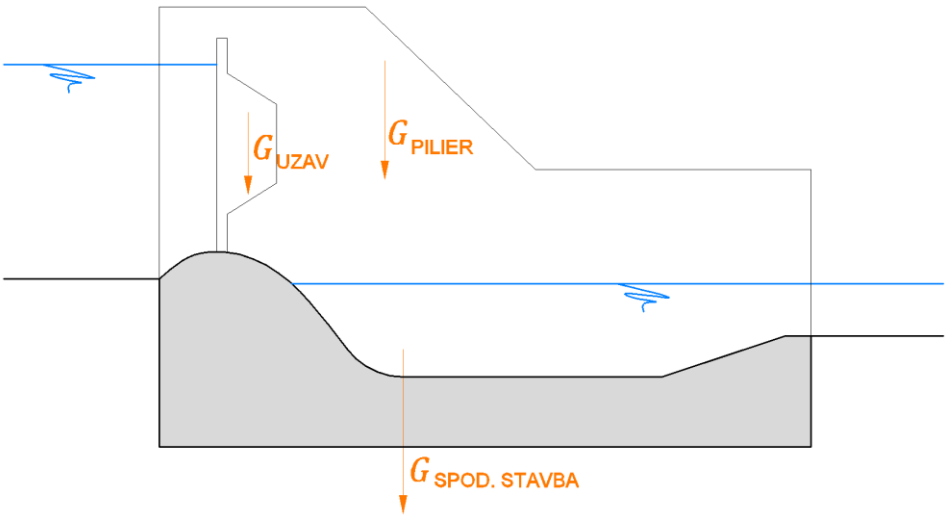
- prostý betón = 23 kN/m^3,
- železobetón = 25 kN/m^3,
- oceľ = 80 kN/m^3.

V – objem konštrukcie [m^3].

Návrhové (výpočtové) zaťaženie sa následne stanoví prenásobením charakteristického (normového) zaťaženia súčiniteľom zaťaženia γ_f podľa Tab. 6.1.

Tab. 6.1 Súčiniteľ zaťaženia pre zaťaženie vlastnou tiažou konštrukcie

Súčiniteľ zaťaženia	γ_f
Pri výpočte stability hate (pozitívny účinok vlastnej tiaže)	0,9
Pri výpočte napätia v základovej škáre (negatívny účinok vlastnej tiaže)	1,1



Obr. 6.2 Sily od vlastnej tiaže jednotlivých častí konštrukcie hate

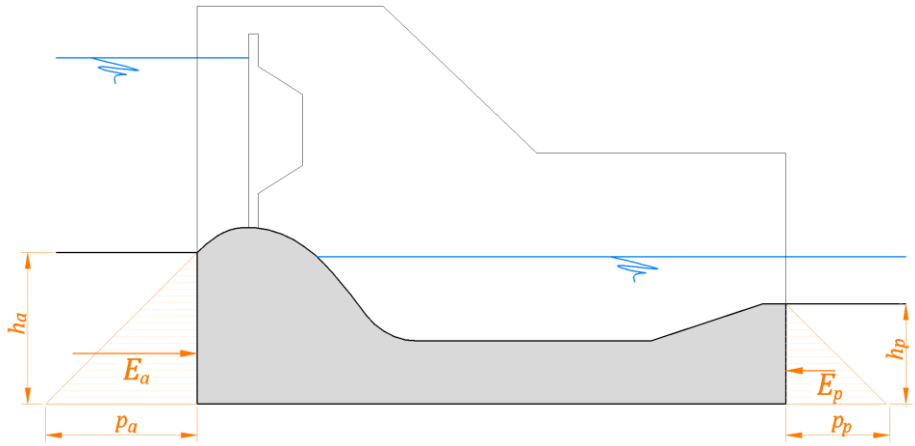
Pre predbežné statické posúdenie je možné tiaž oceľových konštrukcií (pohyblivé uzávery a pohybovacie mechanizmy) stanoviť porovnaním s už zhotovenými konštrukciami

podobného typu a rozmerov [9]. Vlastná tiaž častí hate z iných materiálov (tvárnice, sklobetón, krytina a pod.) sa zavádza do výpočtu iba približným odhadom.

Okrem vlastnej tiaže konštrukcie je nutné uvažovať aj so zaťažením zámerne vneseným do konštrukcie, napr. predpätie, kotvenie do podložia a pod.

6.1.2 Zemný tlak

Medzi zaťaženie, ktoré má charakter *stáleho* a *staticky* pôsobiaceho zaťaženia, patrí aj *zemný tlak*, ktorý pôsobí na konštrukciu hate predovšetkým pri jej hlbšom založení (Obr. 6.3). V prípade, že konštrukcia pred tlakom zeminy „ustupuje“, ide o aktívny zemný tlak. V prípade, že je konštrukcia zatláčaná smerom proti pôsobeniu zemného tlaku – ide o pasívny zemný tlak.



Obr. 6.3 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od aktívneho a pasívneho tlaku zeminy

6.1.2.1 Aktívny zemný tlak

Poradnicu aktívneho zemného tlaku p_a, resp. výslednicu aktívneho zemného tlaku E_a je pre jemnozrnné zeminy možné vypočítať v zmysle Obr. 6.3 na základe vzťahov pre:

- *súdržné zeminy:*

$$p_a = \gamma_{ZV} h_a k_a \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_a = \frac{1}{2}\gamma_{ZV} h_a^2 k_a \text{ [kN/m]} \tag{6.2}$$

- *nesúdržné zeminy:*

$$p_a = \gamma_{ZV} (h_a - h_C) k_a \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_a = \frac{1}{2}\gamma_{ZV} (h_a - h_C) k_a \text{ [kN/m]} \tag{6.3}$$

kde:

γ_{ZV} – objemová tiaž zeminy nadľahčovanej vztlakom vody [kN/m^3], ktorú je možné stanoviť na základe vzťahu (6.4), pričom hodnota γ_{ZV} sa najčastejšie pohybuje v rozmedzí 11 až 13 kN/m^3:

$$\gamma_{ZV} = \gamma_Z - \gamma_V(1-\mu) \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (6.4)$$

kde:

γ_Z – je objemová tiaž suchej zeminy, ktorá je pre:

- nesúdržné piesčité a štrkopieskové zeminy = 17 až 20 kN/m^3,
- súdržné zeminy = 20 až 22 kN/m^3.

γ_V – objemová tiaž vody = 10 kN/m^3,

μ – pórovitosť zeminy [-].

Súčiniteľ aktívneho tlaku k_a je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$k_a = tg^2(45° - \frac{\varphi}{2}) \text{ [-]} \quad (6.5)$$

kde:

φ – je uhol vnútorného trenia, ktorý je pre:

- štrkovité a hrubozrnné zeminy = cca 40 °,
- piesčité zeminy = cca 30 °.

h_a – je hrúbka vrstvy zeminy [m],

h_C – výška, na ktorú sa udrží zemina v zvislom smere tzv. náhradná kohézna výška, ktorú možno vypočítať zo vzťahu:

$$h_c = \frac{2.C_U}{\gamma_Z} tg\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) \text{ [m]} \quad (6.6)$$

kde:

C_U – súdržnosť zeminy, ktorá je pre:

- súdržné hlinito-piesčité = 25 až 60 kPa,
- súdržné ílovité = 25 až 50 kPa.

6.1.2.2 Pasívny zemný tlak

Poradnicu pasívneho zemného tlaku p_p, resp. výslednicu pasívneho zemného tlaku E_p je možné pre jemnozrnné zeminy vypočítať v zmysle Obr. 6.3 na základe vzťahov pre:

- *súdržné zeminy:*

$$p_p = \gamma_{ZV} h_p k_p \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_p = \frac{1}{2}\gamma_{ZV} h_p^2 k_p \text{ [kN/m]} \quad (6.7)$$

- *nesúdržné zeminy:*

$$p_p = \gamma_{ZV}(h_p + h_C)k_p \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_a = \frac{1}{2}\gamma_{ZV}(h_p + h_C)k_p \text{ [kN/m]} \tag{6.8}$$

kde:

h_p – je hrúbka vrstvy zeminy [m],

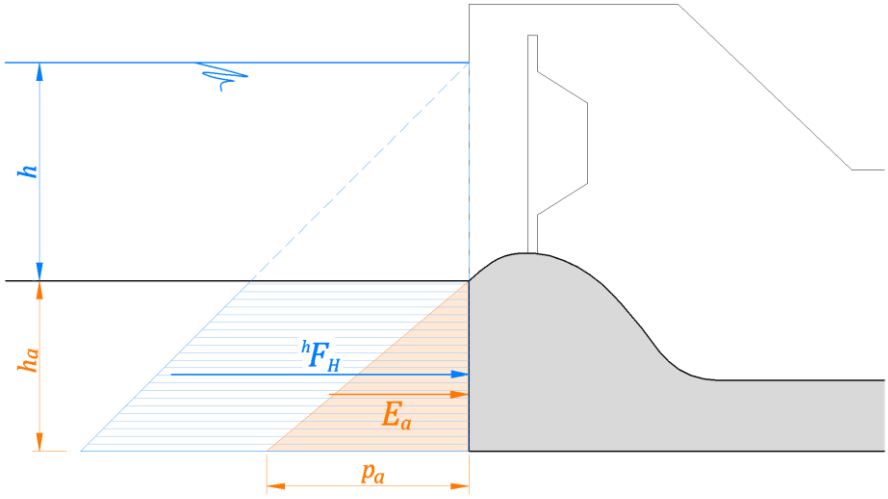
k_p – súčiniteľ pasívneho tlaku, ktorý je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$k_p = tg^2(45° + \frac{\varphi}{2}) \text{ [-]} \tag{6.9}$$

h_C – výška, na ktorú sa udrží zemina v zvislom smere, ktorú možno vypočítať zo vzťahu:

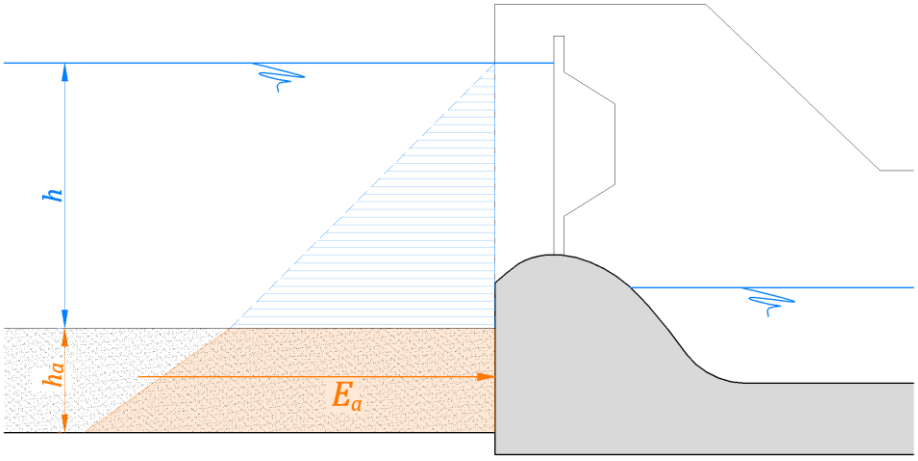
$$h_c = \frac{2.C_U}{\gamma_Z} tg\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ [m]} \tag{6.10}$$

V prípade hrubozrnných zemín, resp. v prípade hrubozrnných nánosov (piesok) sa pri stanovení zaťaženia zemným tlakom vodou nadľahčovanej zeminy postupuje tak, ako v prípade nesúdržných zemín (uvažuje sa objemová tiaž vodou nadľahčovanej zeminy γ_{ZV} (6.4)). Do celkového zaťaženia je však potom nutné samostatne zaviesť aj príslušné zaťaženie vodným tlakom (Obr. 6.4).



Obr. 6.4 Sily pôsobiace na spodnú stavbu hate od aktívneho tlaku hrubozrnných zemín

V prípade jemnozrnných nánosov, napr. bahno, koloidné častice (Kap. 3.5– *časť: Pohyb splavenín vo vodnom toku*) je možné postupovať tak, akoby na posudzovanú konštrukciu pôsobil tlak náhradnej kvapaliny s objemovou tiažou 13 až 14 kN/m^3 (Obr. 6.5).



Obr. 6.5 Sila pôsobiace na spodnú stavbu hate od aktívneho tlaku bahenných nánosov

6.1.3 Tlak vody

Tlak vody pôsobí kolmo na vonkajšie plochy konštrukcie, pričom hydrostatický tlak vyvodzovaný neprúdiacou vodou pôsobí aj v dilatačných škárach a medzi jednotlivými konštrukčnými blokmi hate (Kap. 5.7). Hydrostatický tlak má charakter *náhodného statického* zaťaženia.

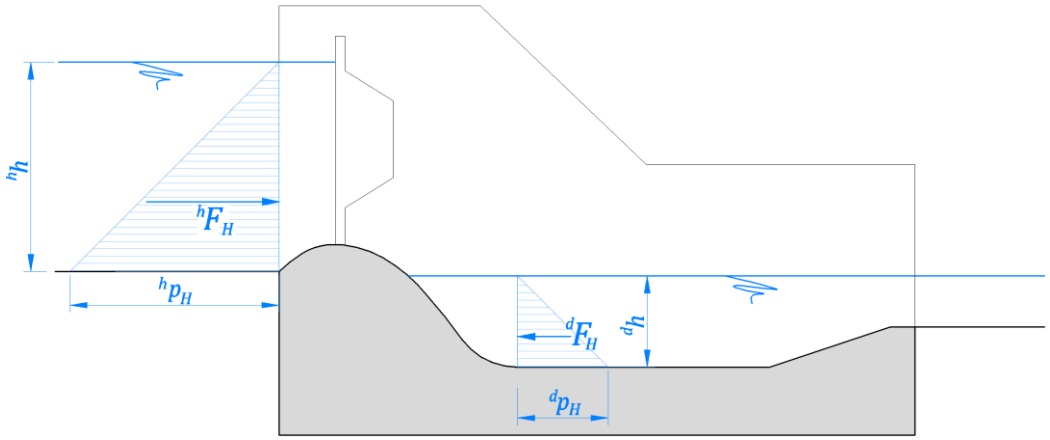
Poradnicu hydrodynamického tlaku p_H, resp. výslednicu horizontálnej zložky hydrostatického tlaku F_H (od hornej a dolnej vody) je možné vypočítať v zmysle Obr. 6.6 na základe vzťahov:

$$p_H = \gamma_V h \ \text{[kN/m}^2\text{]}, \quad F_H = \frac{1}{2}\gamma_V h^2 \ \text{[kN/m]} \tag{6.11}$$

kde:

γ_V – je objemová tiaž vody = 10 kN/m^3,

h – výška vodného stĺpca hornej, resp. dolnej vody [m].



Obr. 6.6 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od horizontálnej zložky hydrostatického tlaku

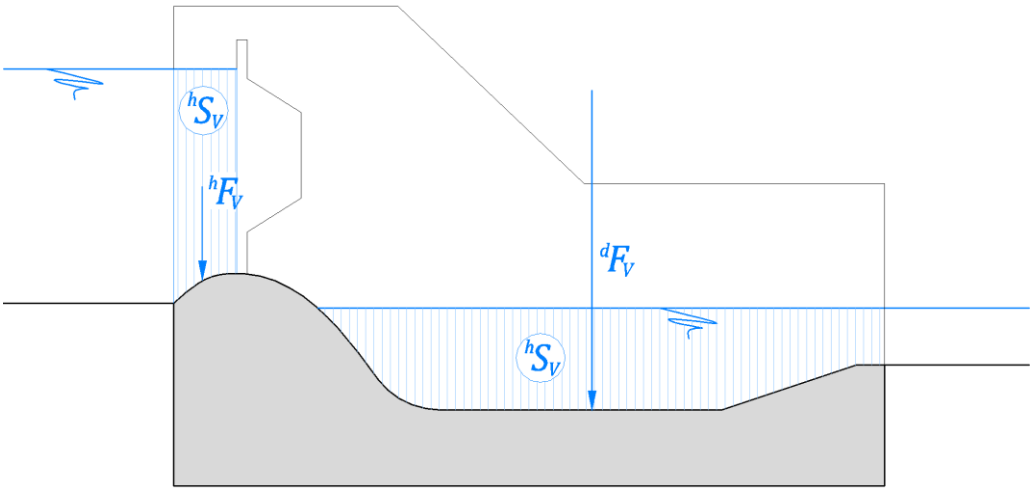
Vertikálna zložka hydrostatického tlaku F_V (od hornej a dolnej vody) sa v zmysle Obr. 6.7 vypočíta prenásobením objemu vody nad konštrukciou jej objemovou tiažou:

$$F_V = \gamma_V V \ \text{[kN/m}^2\text{]}, \ \text{resp.} \ F_V = \gamma_V S_V \ \text{[kN/m]} \qquad (6.12)$$

kde:

V – je objem vody nad konštrukciou [m^3],

S_V – plocha zaťažovacieho obrazca vertikálneho hydrostatického tlaku od hornej, resp. dolnej vody [m^2].



Obr. 6.7 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od vertikálnej zložky hydrostatického tlaku

Výsledná hydrostatická sila pôsobiaca na konštrukciu hate sa stanový ako súčet vektorov horizontálnej a vertikálnej zložky.

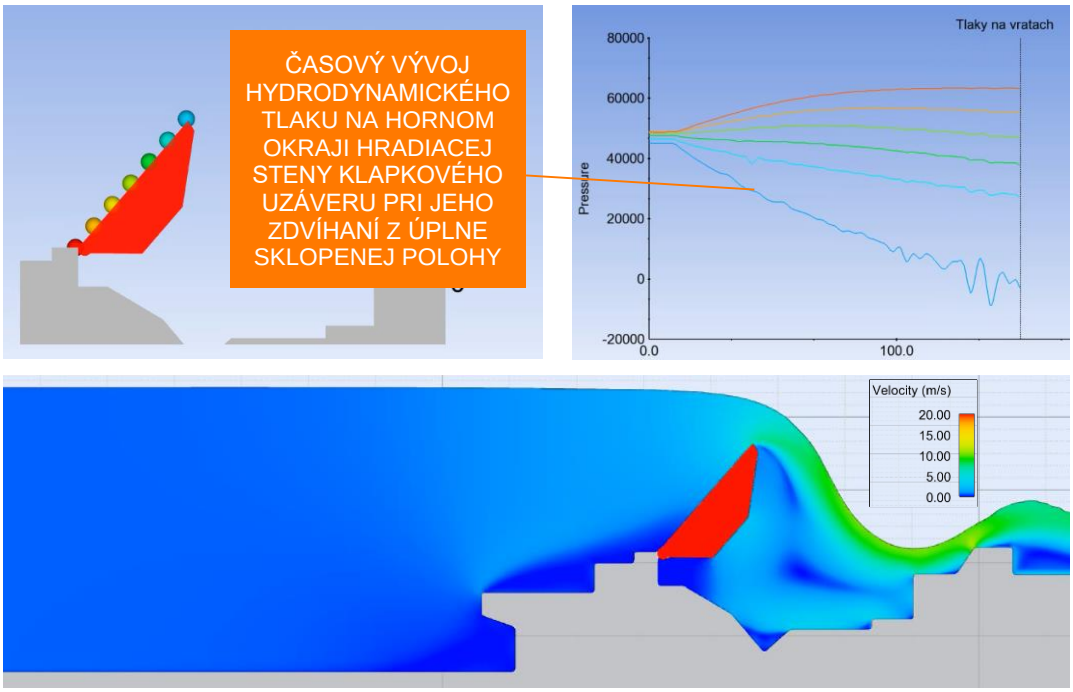
Hydrodynamický tlak, ktorým pôsobí na konštrukcie hate prúdiaca voda, má všetky charakteristiky *dynamického zaťaženia*. Jeho pôsobenie je síce *náhodné* ale často *periodické*.

Veľkosť hydrodynamického tlaku sa určuje najčastejšie hydrotechnickým výskumom alebo matematickou simuláciou (Obr. 6.8).

Hydrodynamický tlak môže spôsobiť *kmitanie* (pulzácia tlakov) alebo *otrasy konštrukcie*. Prípadne je konštrukcia vystavená *rázovému* namáhaniu. Pri približnom riešení sa vplyv dynamického namáhania konštrukcie obtekaním zavádza do výpočtu **dynamickým súčiniteľom δ,** ktorým sa prenásobí zaťaženie od hydrostatického tlaku vody podľa Tab. 6.2.

Tab. 6.2 Dynamický súčiniteľ δ

Druh namáhania konštrukcie	***δ***
kmitanie	1,3
otrasy	1,5
rázy	2,0



Obr. 6.8 Časový vývoja hydrodynamického tlaku na hradiacu stenu klapkového uzáveru – simulácia prúdenia vody modelom FLOW-3D (Zdroj: SvF STU Bratislava, © Martin Orfánus)

Pre stanovenie charakteristických (normových) hodnôt hydrostatického a hydrodynamického zaťaženia sa do výpočtu zavádza objemová tiaž vody 10 kN/m^3. Návrhové (výpočtové) zaťaženie sa následne stanoví prenásobením normového zaťaženia súčiniteľom zaťaženia γ_f podľa Tab. 6.3.

Tab. 6.3 Súčiniteľ zaťaženia pre zaťaženie vodným tlakom

Súčiniteľ zaťaženia	γ_f
Hydrostatický tlak	1,0
Hydrodynamický tlak stanovený modelovým výskumom	1,1
Hydrodynamický tlak stanovený na základe analógie	1,2
Pórový tlak	1,2

6.1.4 Tlak presakujúcej vody (vztlak)

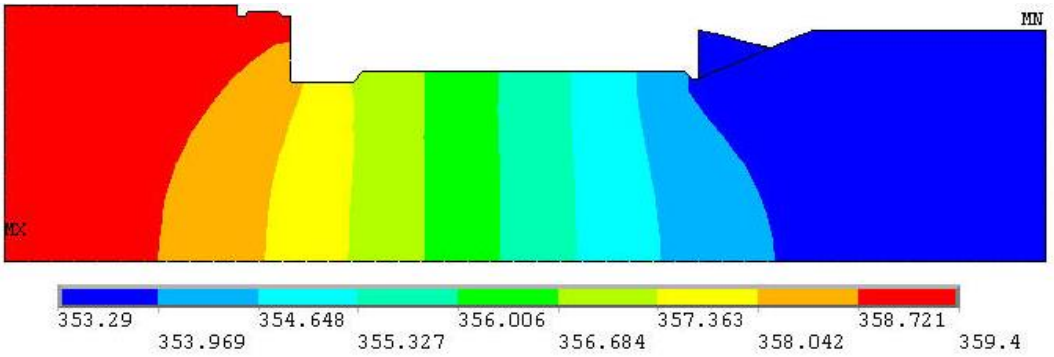
Tlaková voda z hornej zdrže presakujúca podložím hate pôsobí (vyvodzuje tlak) na jej základovú škáru. Pri posudzovaní stability je zvlášť dôležitá zložka tlaku pôsobiaca zvislo nahor, tzv. vztlak. Ten spôsobuje nadľahčovanie konštrukcie, čo môže mať za následok jej nadvihnutie, posunutie prípadne preklopenie.

Na veľkosť vztlaku nemá vplyv ani veľkosť pórov pretekaného prostredia, ani množstvo prúdiacej vody ani jej rýchlosť.

Veľkosť vztlaku závisí od:

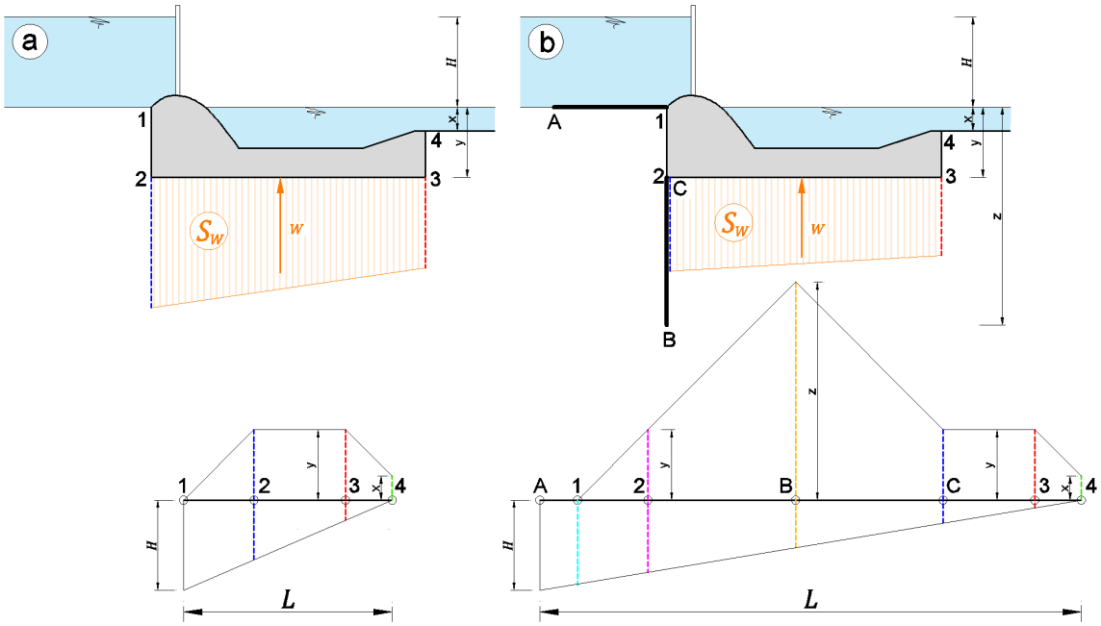
- spádu (t. j. rozdielu hladiny nad a pod haťou),
- hĺbky založenia spodnej stavby hate,
- druhu, vrstevnatosti a priepustnosti podložia,
- použitých tesniacich a odľahčovacích prvkoch.

Na výpočet vztlakov (vztlakových síl) pod základom hate sa používajú rôzne metódy. Podľa [29] sú to v súčasnej dobe najmä matematické modely, ktoré riešia prúdenie vody podložím hate napr. metódou konečných prvkov (Obr. 6.9).



Obr. 6.9 Priebeh vztlakov (piezometrických výšok) [m n.m.] - simulácia prúdenia pod základom hate modelom ANSYS (Zdroj: SvF STU Bratislava, © Andrej Šoltész, Dana Baroková)

Pre predbežné stanovenie veľkosti *vztlaku*, resp. *vztlakovej sily* W je možné použiť metódu podľa *Lane*-a vychádzajúcu zo zjednodušujúceho predpokladu lineárneho úbytku vztlaku pozdĺž rozvinutého spodného obrysu dolnej stavby hate (Obr. 6.10).



Obr. 6.10 Vplyv dĺžky rozvinutého spodného obrysu hate na veľkosť vztlaku (vztlakovej sily)

Pri neskalnom podloží hate sa vzhľadom na bodový kontakt medzi zrnami predpokladá, že pôsobeniu vztlaku je vystavená celá plocha základovej škáry.

Pri *neskalnom podloží hate* (napr. nesúdržné zeminy ako piesok a štrk) sa vzhľadom na bodový kontakt medzi zrnami predpokladá, že pôsobeniu vztlaku je vystavená celá plocha základovej škáry. Postupuje sa tak, že sa najprv (v zmysle Kap. 5.1.2.2 – (5.3)) zostrojí rozvinutý spodný obrys základu hate dĺžky L. V prípade priepustného podložia sa do tejto dĺžky započítajú aj dĺžky použitých tesniacich prvkov (zvislá tesniaca stena (Kap. 5.2.1), tesniaci koberec (Kap. 5.2.2)). Vzhľadom na to, že v reálnych prípadoch tvoria podložie hate vodorovne ukladané vrstvy sedimentov, vodorovné dĺžky spodného obrysu hate sa uvažujú iba 1/3 skutočnej dĺžky. Za predpokladu lineárneho úbytku pretlaku H pozdĺž rozvinutého obrysu je možné v ľubovoľnom bode stanoviť príslušnú hodnotu vztlaku (v metroch vodného stĺpce). Zaťažovací obrazec vztlaku je možné zostrojiť vynesením poradníc vztlakov v bodoch 2 a 3 (Obr. 6.10a), resp. v bodoch C a 3 (Obr. 6.10b). Výslednú vztlakovú silu pôsobiacu v základovej škáre na dolný obrys hate je možné následne vypočítať podľa vzťahu:

$$W = \gamma_V S_W \quad [\text{kN/m}] \tag{6.13}$$

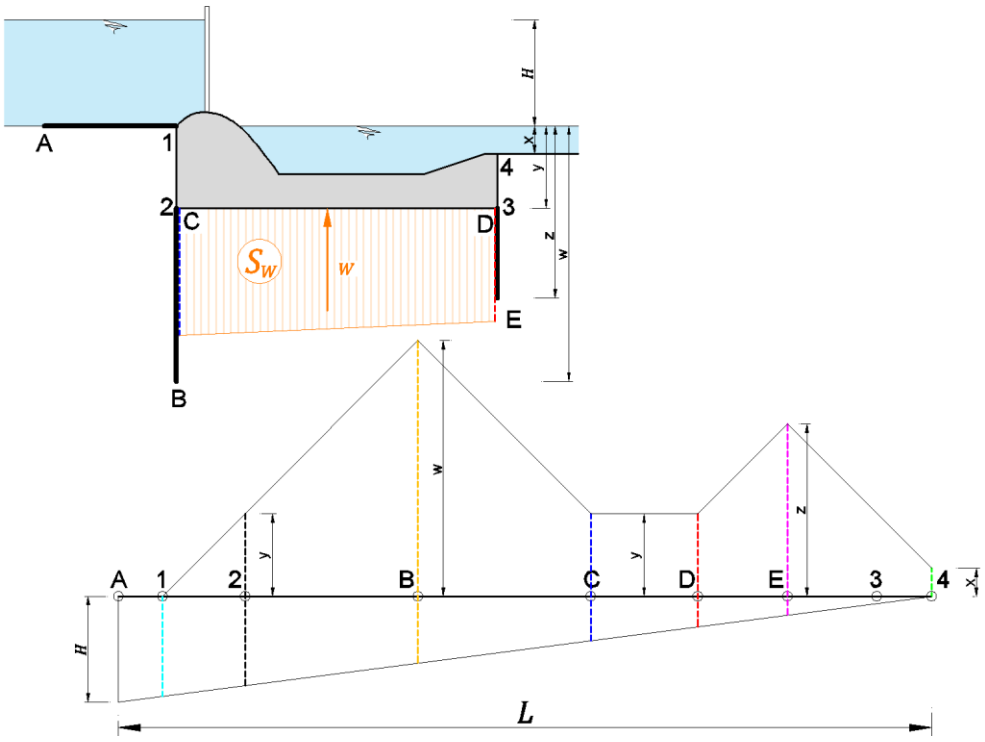
kde:

γ_V – je objemová tiaž vody = 10 kN/m^3,

S_W – plocha zaťažovacieho obrazca vztlaku [m^2].

Zvislý tesniaci prvok na návodnom okraji hate výsledný vztlak na základovú škáru hate zmenšuje.

V prípade, že vztlak pôsobí na šikmú plochu, rozkladá sa riešenie na samostatné stanovenie horizontálnej a vertikálnej zložky vztlaku, pričom výsledná vztlaková sila pôsobí vždy (tak ako hydrostatická tlaková sila) kolmo na základovú škáru. Z Obr. 6.10 je zrejmé, že v prípade, ak je spodný obrys hate predĺžený zvislým tesniacim prvkom na návodnom okraji hate (Obr. 6.10b), výsledný vztlak sa zmenší o straty vznikajúce prúdením okolo podzemnej steny.



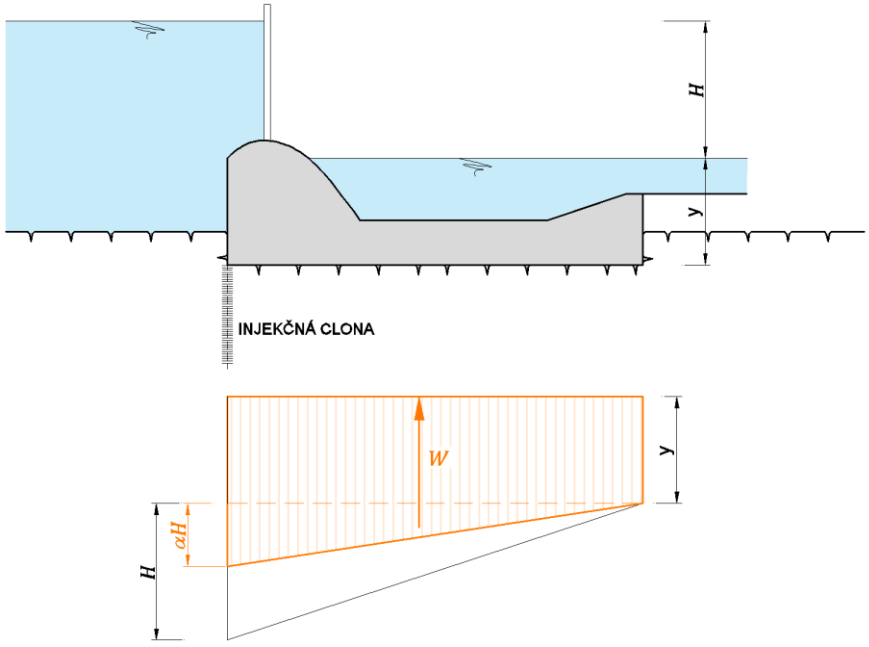
Obr. 6.11 Stanovenie vztlaku na dolný obrys hate v neskalnom podloží

Predĺžením spodného obrysu hate zvislým tesniacim prvkom nielen na návodnom ale aj na vzdušnom okraji spodnej stavby, sa výsledný vztlak, v porovnaní s predĺžením spodného obrysu iba zvislým tesniacim prvkom na návodnom okraji hate zvýši.

Z riešenia na Obr. 6.11 je zrejmé, že predĺžením spodného obrysu hate zvislým tesniacim prvkom nielen na návodnom, ale aj na vzdušnom okraji spodnej stavby, sa výsledný vztlak, v porovnaní s predĺžením spodného obrysu iba zvislým tesniacim prvkom na návodnom okraji hate (Obr. 6.10b), zvýši. To má za následok zníženie bezpečnosti stavby, napr. proti posunutiu (Kap. 6.2.2). Na strane druhej, v zmysle vzťahu (5.1), má predĺženie spodného obrysu hate vplyv na zníženie filtračných rýchlosti, čo prispieva k zvýšeniu bezpečnosti stavby vo vzťahu k prelomeniu podložia (Kap. 6.2.5).

V prípade založenia hate na skalnom podloží sa podzemná voda pohybuje iba v puklinách, čo znamená, že pôsobeniu tlaku nie je vystavená celá plocha základovej škáry. Určiť presné rozmiestnenie puklín v podloží hate je problematické. Preto sa predpokladá, tak ako v prípade neskalného podložia, lineárny úbytok vztlaku smerom ku vzdušnému okraju hate. V prípade vodorovných skalných vrstiev v podloží sa uvažuje s hodnotou plného pretlaku H (rozdiel hornej a dolnej vody). V prípade „dobrej“ celistvej skaly je možné hodnotu plného pretlaku H znížiť o 35 až 50 % (Obr. 6.12). Účinky opatrení proti vztlaku (napr. injekčné clony alebo drenáže) sa tiež do výpočtu zavádzajú znížením veľkosti pretlaku H pomocou súčiniteľa podľa Tab. 6.4.

V prípade založenia hate na skalnom podloží sa podzemná voda pohybuje iba v puklinách, čo znamená, že pôsobeniu tlaku nie je vystavená celá plocha základovej škáry.



Obr. 6.12 Stanovenie vztlaku na dolný obrys hate v skalnom podloží

Tab. 6.4 Súčiniteľ α pre zníženie vztlaku v skalnom podloží hate

Opatrenie proti vztlaku	***α***
Injekčná clona v súrodej nepriepustnej skale	0,1~0,35
Injekčná clona v skale s malými netesnosťami	0,2~0,5
Injekčná clona v značne rozpukanej skale	0,4~0,7
Injekčná clona v značne rozpukanej skale s vodorovnými vrstvami	0,65~0,8
Drenáž pod spodnou stavbou	0,4~0,8
Žiadne, dobrá celistvá skala	0,5~0,65
Žiadne, vodorovné skalné vrstvy	1,0

Pre zníženie hodnoty vztlaku, resp. pre zmenšenie hrúbky vývarovej dosky je možné do vývaru navrhnúť šachovnicovo rozmiestnené ***drenážne otvory*** (Kap. 5.1.1.3 – *časť: Hrúbka vývarovej dosky*). Na strane druhej, v zmysle vzťahu (5.1), má takéto skrátenie filtračnej dráhy vplyv na zvýšenie filtračných rýchlosti, čo prispieva k zvýšeniu rizika vzniku sufózie. Ďalšou možnosťou zníženia hodnoty vztlaku je *prikotvenie konštrukcie k podložiu* (Kap. 5.1.2.4).

6.1.5 Tlak ľadu

Tlak ľadu môže mať charakter *dynamického* alebo *statického* zaťaženia.

Dynamický tlak pri náraze plávajúcich ľadových krýh P_d, pohybujúcich sa účinkom vetra alebo vodného prúdu, je možné stanoviť na základe vzťahu:

$$P_d = gKv\delta\sqrt{lb} \text{ [kN]} \tag{6.14}$$

kde:

g – je gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}],

v – rýchlosť pohybu ľadových krýh [m.s^{-1}],

δ – hrúbka ľadových krýh (pri topení ľadov je to 60 až 80 % najväčšej hrúbky ľadu [m],

l – dĺžka kryhy [m],

b – šírka kryhy [m],

K – konštanta vyjadrujúca tvrdosť ľadu:

- tvrdý ľad na začiatku topenia = $4{,}3$ až 6,
- mäkší ľad po dlhšie trvajúcom ľadochode = $2{,}4$ až $4{,}5$.

Tlak od návalu plávajúceho ľadového poľa P_n je možné stanoviť na základe vzťahu:

$$P_n = \left(0{,}3 + \frac{L}{1000}\right) vB \text{ [kN] platí pre } L < 1200 \text{ m} \tag{6.15}$$

kde:

L – je dĺžka ľadového poľa [m],

v – stredná rýchlosť vody pod ľadom [m.s^{-1}], (ak sa voda nepohybuje = 1 m.s^{-1})

B – šírka ľadového poľa v smere kolmom na jeho pohyb [m].

Statický tlak ľadovej celiny môže vzniknúť pri topení súvislej ľadovej celiny, ktorá vznikla medzi objektom hate a pevnou oporou, napr. skalnatým protiľahlým brehom. Tlak ľadu závisí od hrúbky ľadu a dĺžky ľadovej pokrývky L_p – Tab. 6.5.

Tab. 6.5 Statický tlak ľadovej celiny

Hrúbka ľadu [m]	***Tlak ľadu*** [kN/m]			
	L_p >= 150 m	L_p >= 100 m	L_p >= 75 m	L_p >= 50 m
1,5	270	380	460	540
1,2	200	240	290	350
1,0	150	190	230	260
0,7	100	130	170	200
0,5	70	80	100	130

6.1.6 Pôsobenie vĺn

Vzduté úseky tokov vytvárajú podmienky pre častejší výskyt oscilačných vĺn vyvolaných pôsobením vetra (Obr. 6.13).

Obr. 6.13 Vetrové vlny v prívodnom kanáli Vodného diela Gabčíkovo na rieke Dunaj

Silu pôsobiacu pri zastavení vlny o konštrukciu hate je možné stanoviť na základe vzťahov podľa [32].

Kontrolné otázky

Ako sa postupuje pri návrhu hate?

Čo je zaťaženie a čo sú zaťažovacie stavy?

Podľa akých kritérií delíme zaťaženia hate?

Posúdenie stavebných častí hate

Ako sa stanoví zaťaženie hate od vlastnej tiaže?

Ako pôsobí na konštrukciu hate zemný tlak?

Ako sa stanoví zaťaženie hate od zemného tlaku súdržných a nesúdržných zeminách?

Ako sa stanoví zaťaženie hate od zemného tlaku v hrubozrnných a jemnozrnných nánosoch?

Ako sa stanoví zaťaženie hate od hydrostatického tlaku?

Čo môže spôsobiť hydrodynamický tlak na konštrukciu hate?

Ako sa stanoví zaťaženie hate od hydrodynamického tlaku?

Čo má a čo nemá vplyv na veľkosť vztlaku?

Ako sa stanoví vztlak na konštrukciu hate v neskalnom podloží?

Aký je vplyv protipriesakových prvkov na veľkosť vztlaku na konštrukciu hate?

Ako sa stanoví vztlak na konštrukciu hate v skalnom podloží?

Aké typy zaťaženia na konštrukciu hate môže vyvolávať ľad?

Od akých parametrov závisí silový účinok ľadu na konštrukciu hate?

Prečo vznikajú vlny vo vzdutých úsekoch tokov?

6.2 Statické riešenie podľa medzných stavov

Pri hatiach je výhodné začať posudzovaním medzných stavov použiteľnosti a až následne pristúpiť k jej posudzovaniu na medzné stavy únosnosti.

Statické posúdenie hatí je základným krokom pri ich navrhovaní, výstavbe a udržiavaní s cieľom zabezpečiť ich bezpečnosť a spoľahlivosť. Riadi sa príslušnými stavebnými predpismi a normami (STN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhovania konštrukcií, STN EN 1991 Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií, STN EN 1992 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií atď.).

V zmysle vyššie uvedených noriem by stavebné konštrukcie mali byť navrhnuté a realizované tak, aby počas svojej predpokladanej životnosti neboli vystavené tzv. medzným stavom (t. j. situáciám, pri ktorých by mohla byť ohrozená ich bezpečnosť, pevnosť alebo funkčnosť).

Statické riešenie hate pozostáva z posúdenia:

- *medzných stavov únosnosti (MSÚ)* vyjadrujúcich schopnosť odolávať zaťaženiam z hľadiska pevnosti konštrukcie. Ich prekročenie by viedlo k trvalému porušeniu konštrukcie – kolapsu.

  Pre posúdenie medzných stavov únosnosti sa použijú hodnoty návrhového (výpočtové) zaťaženia (Kap. 6.1).

- *medzných stavov použiteľnosti (MSP)*, ktorými sa posudzuje vplyv pretvorenia konštrukcie na prevádzkyschopnosť hate. Ich prekročenie by ešte neviedlo k samotnému kolapsu konštrukcie, ale viedlo by napr.:

  - k vzniku priehybov, ktoré by obmedzovali manipuláciu s pohyblivým uzáverom hate,
  - k deformáciám alebo posunom, ktoré môžu spôsobiť nežiaduci pohyb vody a jej vniknutie tam, kde môže spôsobiť prevádzkové i stabilitné problémy,
  - k neprijateľnému kmitaniu konštrukcie.

  Pre posúdenie medzných stavov použiteľnosti sa použijú hodnoty charakteristického (normového) zaťaženia (Kap. 6.1).

Pri hatiach je výhodné začať posudzovaním medzných stavov použiteľnosti, ktoré vyjadrujú vplyv pretvorenia konštrukcie na jej prevádzkyschopnosť a až následne pristúpiť k jej posudzovaniu na medzné stavy únosnosti.

Pri hatiach je nutné posudzovať podmienky stability spodnej stavby hate, ktoré vyjadrujú odolnosť stavby proti:

- posunutiu,
- ušmyknutiu,
- nadvihnutiu,
- preklopeniu,
- sadaniu,
- prelomeniu podložia.

Každá staticky samostatne pôsobiaca konštrukcia hate sa posudzuje zvlášť. Pre posúdenie spolupôsobenia častí konštrukcie je rozhodujúce umiestnenie dilatačných škár (Kap. 5.7).

V prípade, že konštrukcia hate vyhovuje vyššie uvedeným podmienkam, je možné prikročiť k posúdeniu únosnosti základovej škáry a pod.

Hať musí vyhovovať všetkým vyššie spomenutým posúdeniam pre všetky zaťažovacie stavy.

6.2.1 Voľba zaťažovacích stavov

Stabilita hate sa posudzuje vždy pre viac zaťažovacích stavov, ktoré môžu reálne nastať počas:

- výstavby,
- prevádzky,
- opráv a rekonštrukcie.

Pri statickom riešení hate treba voliť takú reálnu a odôvodnenú kombináciu súčasne pôsobiacich zaťažení, ktorými sa vyvodia najnepriaznivejšie účinky na konštrukciu hate.

Najčastejšie zaťažovacie stavy sú:

- stav po dokončení stavby (hať v otvorenej stavebnej jame) – hladina podzemnej vody znížená pod úroveň základovej škáry,
- normálny prevádzkový stav (maximálna hladina hornej a minimálna hladina dolnej vody, hať ové polia zahradené),
- stav pri revíziách a opravách – osadené provizórne hradenie v jednom hať ovom poli, vyčerpaný vývar,
- stav pri prepúšťaní katastrofálneho prietoku – maximálna hladina hornej a dolnej vody.

6.2.2 Stabilita (odolnosť) proti posunutiu a ušmyknutiu

Posunutie hate hrozí najmä pri vyšších konštrukciách s veľkou výslednicou horizontálnych síl a menším odporom trenia v základovej škáre. K ušmyknutiu môže dôjsť najmä v zeminách s nízkym uhlom vnútorného trenia.

Stabilitu hate je nutné posúdiť na odolnosť proti posunutiu a ušmyknutiu:

- po základovej škáre,
- po pracovných škárach,
- po všetkých reálnych šmykových plochách v podzákladí.

Rozhodujúci medzný stav stability konštrukcie proti posunutiu je potom najnepriaznivejší stav ušmyknutia pozdĺž niektorej z vyššie uvedených plôch.

Pri **posúdení stability proti posunutiu po základovej škáre** (Obr. 6.14) musí platiť:

$$\gamma_n F_{ud} \leq \gamma_{stp} U_u \qquad (6.16)$$

kde:

γ_n – je súčiniteľ účelu, ktorý závisí od následkov, ktoré by boli spôsobené porušením hate:

- hate nižšie ako 5 m = 1,1,
- hate vyššie ako 5 m = 1,2.

F_{ud} – výslednica všetkých síl, ktorá pôsobí rovnobežne so základovou škárou v smere uvažovaného posunutia,

γ_{stp} – súčiniteľ stability polohy proti posunutiu = $0{,}9$,

U_u – odpor proti posunutiu , ktorý je možné určiť zo vzťahu:

$$U_u = \mu N_d + cA_c \text{ [kN]} \tag{6.17}$$

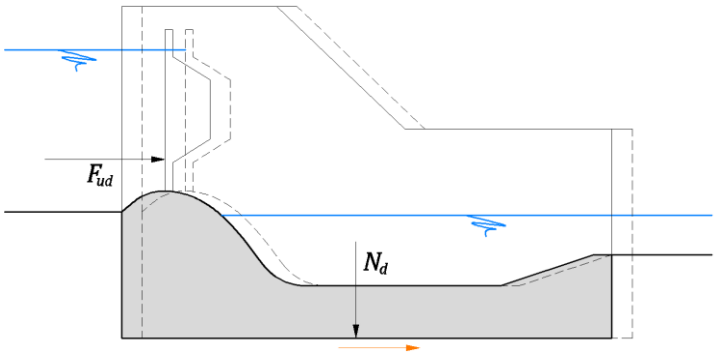
kde:

μ – je totálna výpočtová hodnota súčiniteľa šmykového trenia v kľude [-],

N_d – výslednica všetkých síl, ktoré pôsobia v základovej škáre v smere kolmom na ňu [kN],

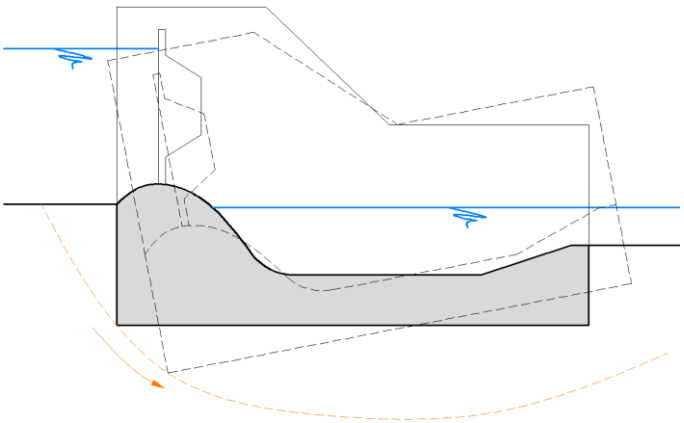
c – totálna výpočtová hodnota súčiniteľa súdržnosti zeminy [kN/m^2],

A_c – plocha základovej škáry, na ktorú pôsobia sily od súdržnosti [m^2].



Obr. 6.14 Posunutie po základovej škáre – schéma

Stabilita proti ušmyknutiu po šmykovej ploche v podzákladí (Obr. 6.15) sa prešetruje metódami z oblasti mechaniky zemín napr. *prúžková metóda* [13]. Pri stanovení potenciálnej šmykovej plochy je nutné venovať pozornosť hustote puklín v podloží, prípadne jeho vrstevnatosti. Hodnoty šmykových prevností podložia by mali byť stanovené na základe geologického prieskumu.



Obr. 6.15 Ušmyknutie po šmykovej ploche – schéma

6.2.3 Stabilita proti nadvihnutiu

K nadvihnutiu konštrukcie by prišlo, ak by výslednica vertikálnych zložiek síl bola orientovaná proti smeru gravitácie, t. j. ak by vztlak na spodný obrys bol väčší ako hmotnosť konštrukcií a priťaženia. Toto nebezpečenstvo hrozí napr. pri štíhlych oddilatovaných vývarových doskách. Pri stanovení zaťaženia sa uvažuje s vyčerpaním vody z oblasti vývaru, napr. v prípade opravy alebo revízie vývarovej dosky.

Pri **posúdení stability proti nadvihnutiu** musí platiť:

$$\gamma_n \gamma_{fW} W \leq \gamma_{stp} U_v \qquad (6.18)$$

kde:

γ_n – je súčiniteľ účelu, ktorý závisí od následkov, ktoré by boli spôsobené porušením hate:

- hate nižšie ako 5 m = 1,1,
- hate vyššie ako 5 m = 1,2.

γ_{fW} – súčiniteľ zaťaženia vztlakom podľa Tab. 6.6,

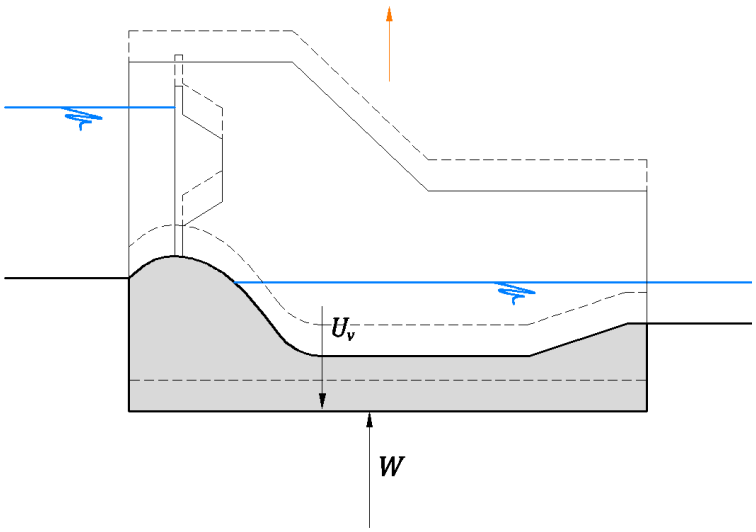
W – výslednica síl od zaťaženia vztlakom (Kap. 6.1.4),

γ_{stp} – súčiniteľ stability polohy proti nadvihnutiu =1,0,

U_v – odpor proti nadvihnutiu vztlakom (väčšinou vlastná tiaž konštrukcie – Kap. 6.1.1).

Tab. 6.6 Súčiniteľ zaťaženia pre zaťaženie vztlakom

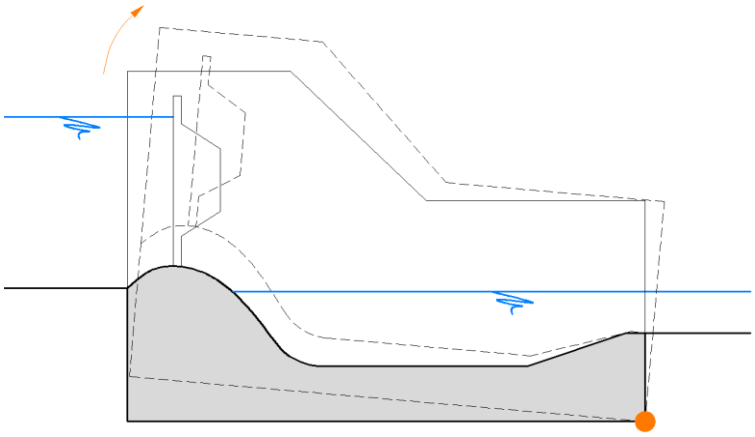
Súčiniteľ zaťaženia	γ_{fW}
Pri stanovení hodnoty vztlaku modelovým výskumom	1,0
Pri stanovení hodnoty vztlaku za predpokladu lineárneho úbytku pretlaku pozdĺž základovej škáry (Kap. 6.1.4)	1,1 až 1,2



Obr. 6.16 Nadvihnutie – schéma

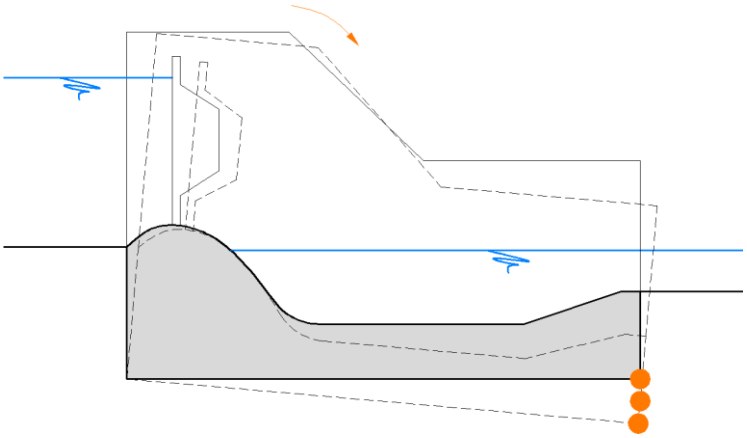
6.2.4 Stabilita proti preklopeniu

V prípade skalného (nestlačiteľného) podložia môže prísť k preklopenie telesa hate okolo vzdušnej päty vývaru (Obr. 6.16).



Obr. 6.17 Preklopenie pri nestlačiteľnom podloží - schéma

V prípade stlačiteľného podložia možno očakávať aj zatlačenie konštrukcie do podložia, takže je nutné hľadať viac možností bodu otáčania (Obr. 6.18).



Obr. 6.18 Prekolopenie pri stlačiteľnom podloží – schéma

Pri **posúdení stability proti preklopeniu** musí platiť:

$$\gamma_n M_{act} \leq \gamma_{stp} M_{pas} \tag{6.19}$$

kde:

γ_n – je súčiniteľ účelu, ktorý závisí od následkov, ktoré by boli spôsobené porušením hate:

- hate nižšie ako 5 m = 1,1,
- hate vyššie ako 5 m = 1,2.

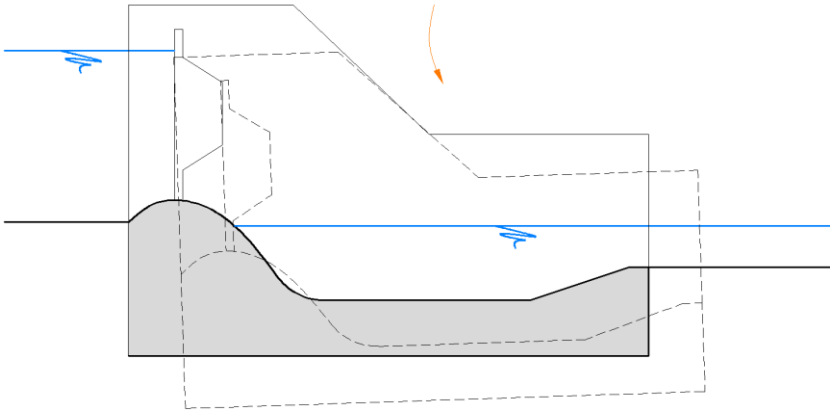
M_{act} – aktívny moment síl, ktorý spôsobuje preklopenie konštrukcie,

γ_{stp} – súčiniteľ stability polohy proti nadvihnutiu =$1{,}0$,

M_{pas} – pasívny moment síl, ktorý pôsobí proti preklopeniu konštrukcie.

6.2.5 *Stabilita proti prelomeniu podložia*

V prípade málo súdržných alebo nesúdržných zemín môže pri prekročení nevymieľacích rýchlostí v podloží nastať *sufózia,* t. j. vymieľanie jemných častíc zeminy. Po vyplavení častíc zeminy prichádza k oslabeniu podložia hate. V prípade, že tlak presakujúcej vody je väčší, ako je tiaž zeminy, nadľahčovanej vztlakom dochádza k prelomeniu podložia spojeným s pootočení a sadnutím hate (Obr. 6.19), resp. k úplnému kolapsu konštrukcie (Obr. 6.20, Obr. 6.21).



Obr. 6.19 Prelomenie podložia – schéma

Keďže rýchlosť prúdenia podzemnej vody je funkciou hydraulického gradientu (5.1), možno pre konkrétnu zeminu zistiť **kritický hydraulický gradient i_{KR}**, pri ktorom už nastáva sufózia.

$$i_{KR} = \alpha \frac{(1-\mu)(\gamma_S - \gamma_V)}{\gamma_V} \tag{6.20}$$

kde:

α – súčiniteľ (= $0{,}9$ až $0{,}95$),

μ – pórovitosť zeminy [-],

- mäkký íl, hlina = $0{,}5$,
- piesok = $0{,}3$,
- štrk = $0{,}2$.

γ_S – merná tiaž pevných častí zeminy [kN/m^3],

γ_V – merná tiaž vody = 10 kN/m^3.

V prípade, že je hydraulický gradient (5.1) v podloží väčší ako kritický, je nutné zabrániť prelomeniu podložia napr. priťažením podhatia za vývarom kamennou zahádzkou (Obr. 5.47), resp. predĺžením dĺžky spodného obrysu hate (Kap. 5.1.2.2).

Prelomením podložia je najviac ohrozená oblasť za vývarom, ale k oslabeniu podložia môže dochádzať aj v iných oblastiach, napr. pri odľahčovacích drénoch vývarovej dosky (Kap. 5.1.1.3 – *časť: Hrúbka vývarovej dosky*). V tomto prípade je opatrením proti sufózii návrh obráteného, väčšinou 3-vrstvového filtra (Obr. 5.17), ktorého úlohou je plynulé zvyšovanie rýchlosti prúdenia vody z podzákladia do drenážneho otvoru.

Obr. 6.20 Havária hate Shih-Kang (Thajsko) spôsobená prelomením podložia
(Zdroj: ntuce-newsletter.tw) Havária hate Shih-Kang (Thajsko) spôsobená prelomením podložia

Obr. 6.21 Havária hate Šárovce na rieke Hron spôsobená prelomením podložia
(Zdroj: SvF STU Bratislava, © Jozef Hulla)

Kontrolné otázky

Z akých posúdení pozostáva statické riešenie hate?

Čo vyjadruje zo statického hľadiska medzný stav únosnosti a medzný stav použiteľnosti?

Aké sú najčastejšie zaťažovacie stavy hate?

Aká je podmienka posúdenia stability proti posunutiu hate po základovej škáre?

Aká je podmienka posúdenia stability proti nadvihnutiu hate?

Aká je podmienka posúdenia stability proti preklopeniu hate?

Kedy dochádza k prelomeniu podložia hate?

Aké sú opatrenia proti prelomeniu podložia hate?

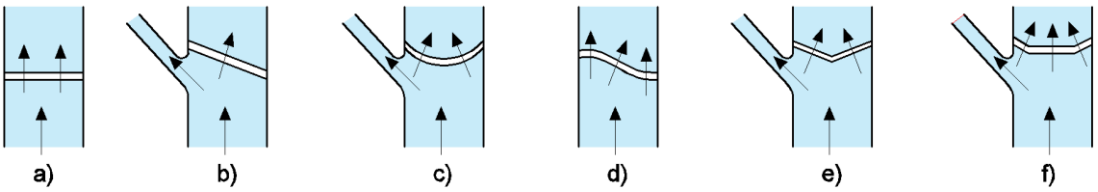
7 Pevné hate

Pevné hate patria k najstarším stavbám vo vodnom staviteľstve. Sú vytvorené nepohyblivým haťovým telesom, na priepadovej korune ktorého nie sú umiestnené žiadne pohyblivé regulačné uzávery. Z tohto dôvodu nie je pevná hať schopná regulovať prietok, to znamená, že okamžitý prítok v profile hate sa rovná okamžitému odtoku. Poloha vzdutej hladiny nad haťou a dĺžka hydrodynamického vzdutia je premenlivá a závisí od veľkosti prietoku, ktorý cez hať prepadá. Napriek tejto nevýhode však môžu pevné hate plniť všetky účely tak, ako sú uvedené v Kap. 3.4.

Najstaršie pevné hate boli z dreva a kameňa (Obr. 7.4). S rozvojom techniky sa však postupne menil materiál a aj tvar priepadových plôch a celej konštrukcie pevných hatí. V dnešnej dobe sa môžeme preto stretnúť s rozmanitými typmi hatí, ako z pohľadu použitých materiálov, tak z pohľadu tvarov.

Pevné hate môžeme rozdeliť podľa:

- prevažujúceho materiálu telesa hate na:
  - **drevené,**
  - **kamenné,**
  - **murované,**
  - **betónové,**
  - **železobetónové.**
- tvaru priečneho rezu na hate s priepadovou plochou:
  - **strechovitou,**
  - **obdĺžnikovou,**
  - **lichobežníkovou,**
  - **zaoblenou,**
  - **prúdnicovou.**
- spôsobu prevádzania vody cez hať na:
  - **prepadové,**
  - **násoskové.**
- vodotesnosti hate na:
  - **priepustné,**
  - **nepriepustné.**
- pôdorysného tvaru koruny priepadu na:
  - **priame kolmé** (Obr. 7.1a),
  - **priame šikmé** (Obr. 7.1b),
  - **oblúkové** (Obr. 7.1c, d),
  - **zalomené** (Obr. 7.1e,f).



Obr. 7.1 Pôdorysné usporiadanie hate

Predĺženie prepadovej hrany má účinok iba pri nízkych prietokoch. Pri vyšších prietokoch sa efekt predĺženia pri nižších hatiach stráca.

Hate priame šikmé, oblúkové a zalomené sa v minulosti stavali hlavne s cieľom zvýšiť kapacitu hate predĺžením prepadovej hrany a taktiež, aby sa lepšie usmernila voda do odberov (Obr. 7.1b, c, e, f, Obr. 7.2). Predĺženie prepadovej hrany má však účinok iba pri nízkych prietokoch. Pri vyšších prietokoch sa efekt predĺženia nižších hatí stráca. Priaznivý vplyv predĺženia prepadovej hrany sa prejavuje iba pri vyšších hatiach, kde je však, napr. pri lomených a zaoblených hatiach, viac namáhané podhatie vplyvom stretávania sa prepadových lúčov. Na druhej strane sa týmto zvyšuje bezpečnosť brehov proti podomletiu, pretože hlavný výmoľ sa vytvorí v osi toku.

Obr. 7.2 Pevná oblúková hať Hradec Králové (Malšovický jez) na rieke Orlice, ČR (Zdroj: flyfoto.cz)

Efektívnym spôsobom zvýšenia kapacity pevnej hate je použitie tzv. *nelineárnej hate*, ako je napr. labyrintová hať. Napriek tomu, že ich kapacita je v porovnaní s priamymi haťami s rovnakou efektívnou prrepadovou šírkou nižšia, výhodou je podstatné zmenšenie celkovej stavebnej šírky hate, prevzdušnovanie prietoku a nízka rozkolísanosť hladiny nad haťou.

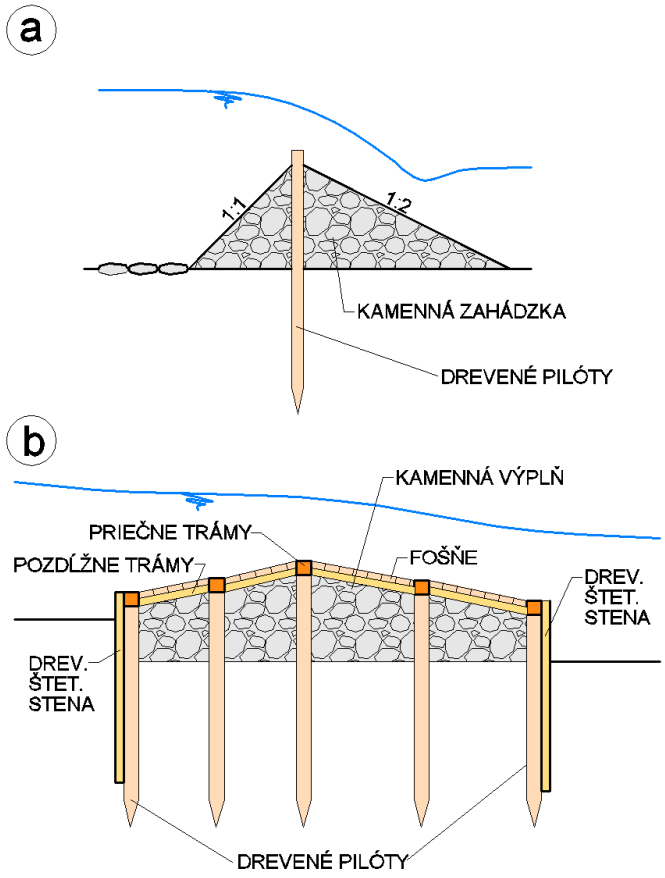
Obr. 7.3 Labyrintová hať Standley Lake, Westminister, Colorado, USA
(Zdroj: researchgate.net, © K. Warren Frizell)

7.1 Drevené hate

V súčasnosti sa drevené hate používajú ako dočasné konštrukcie, na hradenie malých výšok do cca 1 m. Ku stavbe sa používa drevo z väčším obsahom živice (napr. dub). Vyznačujú sa relatívne jednoduchou konštrukciou, napr. zarazením drevených pilot a ich obsypaním kamennou zahádzkou, ktorá sa na návodnej strane upraví do sklonu $1:1$ a na vzdušnej do sklonu $1:2$ (Obr. 7.4a). Dno pred haťou sa vydláždi kamennými blokmi. Do brehov sa hať zaviaže predĺžením pilótovej steny.

Dokonalejšiu pevnú hať predstavuje konštrukcia vytvorená zarazením niekoľkých radov pilót vo vzdialenosti cca 3,0 m. V každej rade sú pilóty od seba vzdialené cca 1,5 m. Hlavy pilót sa navzájom spoja v priečnom aj pozdĺžnom smere trámami. Vytvorený trámový rošt sa prekryje fošňami (Obr. 7.4b), čím sa vytvorí „hladká" priepadová plocha. Drevené konštrukcie obsypané, resp. vyplnené kamenivom bývajú priepustné. Nepriepustnosť sa môže dosiahnuť tak, že spolu s kamenivom sa sype do haťového telesa íl alebo hlina. V takomto prípade je však nutné zabezpečiť, aby íl, či hlina neboli vymieľané, a to napr. zabaranením drevenej štetovnicovej steny na návodnej aj vzdušnej strane hate.

Pre drevené hate vybudované v minulosti je príznačné, že v podhatí nebol vybudovaný vývar, v dôsledku čoho sa pod haťou tvorili výmole. Aby sa zabránilo prehlbovaniu výmoľov, spevňovalo sa dno pod haťou kamennou zahádzkou.



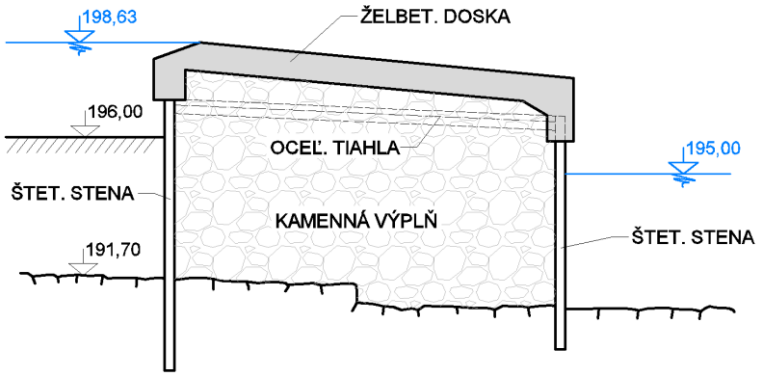
Obr. 7.4 Pevné hate z dreva a kameňa

7.2 Kamenné a murované hate

Tak ako v prípade drevených hatí sa v súčasnosti kamenné hate používajú ako dočasné konštrukcie, na hradenie malých výšok. Typickou kamennou haťou je kamenná hrádza lichobežníkového priečneho rezu, sypaná z hrubého kameňa naprieč tokom. Povrch hrádzky býva väčšinou z vyklinovanej dlažby. Podhatie tvorí kamenná zahádzka. Takáto konštrukcia je však odolná len pri nižších prietokoch.

Na zvýšenie odolnosti pri veľkých prietokoch je vhodné konštrukciu spevniť napr. drevenými pilótami (Obr. 7.4b) alebo oceľovými štetovnicami, ktoré môžu byť zovreté (pre zvýšenie tuhosti konštrukcie) oceľovými ťahadlami (Obr. 7.5). Povrch môže byť obložený napr. dlažbou s ťažkých kamenných blokov spojených maltou alebo železobetónovou doskou.

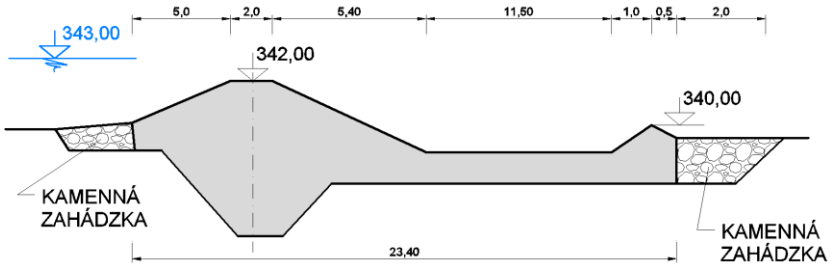
Pre trvalé hradenie môžu byť použité odolnejšie konštrukcie, napr. haťové telesá murované z kamenných blokov alebo kvádrov, resp. z tehál spojených cementovou maltou. Výstavba murovaných hatí si však vyžaduje značné množstvo manuálnej práce, hlavne pri použití presne opracovaných kvádrov; je zdĺhavá a nákladná. Preto sa z rozvojom betónu budujú v prevažnej miere betónové pevné hate.



Obr. 7.5 Pevná hať Veletov na rieke Labe, ČR

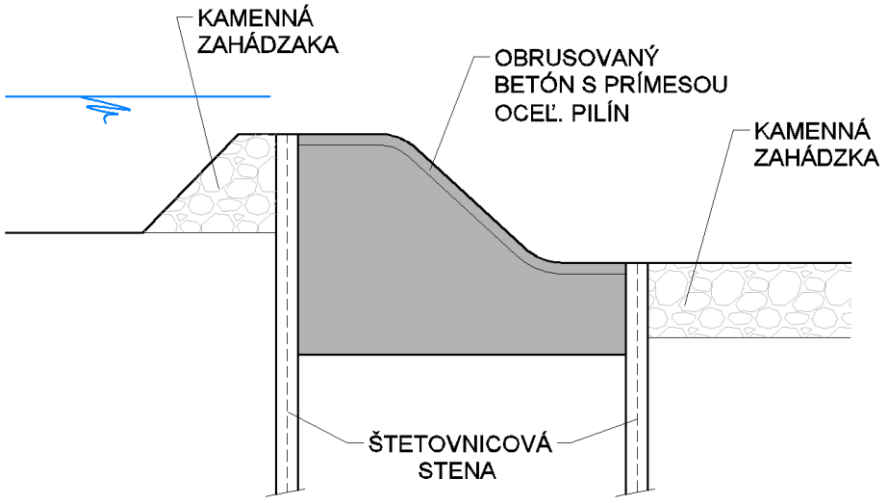
7.3 Betónové hate

Na rozdiel od drevených a kamenných hatí sú betónové hate *nepriepustné* a oproti murovaným hatiam umožňujú rýchlejšiu výstavbu. Staršie betónové konštrukcie si zachovávali tvar obdobný murovaným hatiam (Obr. 7.6), ale postupne boli koruny hatí a priepadových plôch zaobľované.



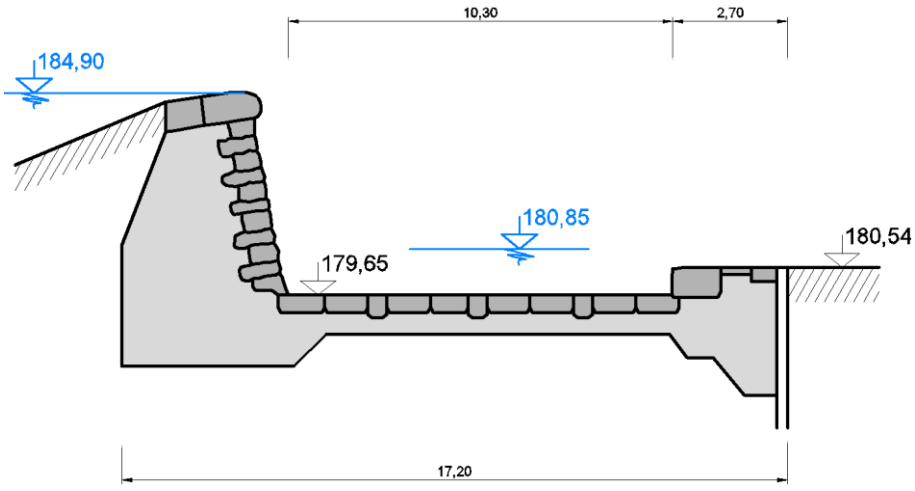
Obr. 7.6 Pevná hať Radošov na rieke Ohře, ČR

Drevené pilóty boli nahradzované oceľovými štetovnicovými stenami razenými na návodnej aj vzdušnej strane (Obr. 7.7), aby sa predĺžila filtračná dráha pod základom hate (Kap. 5.1.2.2).



Obr. 7.7 Pevná hať na rieke Oslava, ČR

Významný obrat v navrhovaní pevných hatí nastal v r. 1907 pri Helmovskej hati na Vltave v Prahe (Obr. 7.8), kedy bol po prvýkrát na návrh hate použitý modelový hydraulický výskum. Podstatnou zmenou bol návrh priameho napojenia opevneného vývaru k haťovému telesu.



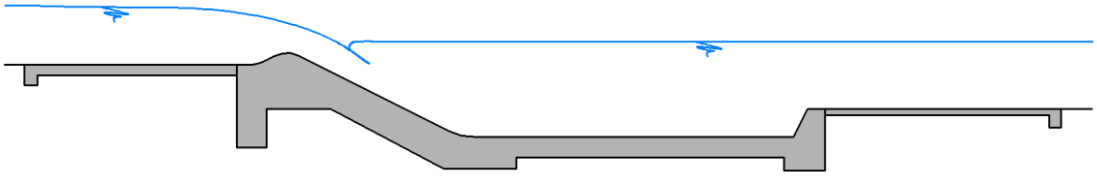
Obr. 7.8 Helmovská hať (orig. Helmovský jez) v Prahe na Vltave, ČR

Skúsenosti z prevádzky tejto hate viedli k návrhu nového typu hate s prúdnicovou zaoblenou priepadovou plochou (Obr. 5.2), pričom prúdnicové (najmä tlakové a bezpodtlakové) plochy (Kap. 4.3.1.3) sa začali navrhovať aj pri rekonštrukciách starších pevných hatí (Obr. 4.6).

Prúdnicové priepadové plochy však kladú pri realizácii dosť veľké nároky na presnosť prevedenia. Preto sa dnes, a to najmä pri nízkych hatiach, navrhuje haťové teleso v tvare Jamborovho prahu (Obr. 7.9). Realizácia Jamborovho prahu je jednoduchšia a prah umožňuje

Pri výstavbe a najmä pri rekonštrukcii pevných hatí je okrem ekonomického hľadiska dôležitý aj faktor vhodného začlenenia hate do prostredia.

dobré prevedenie prietoku (vysoká hodnota prepadového súčiniteľa) aj splavenín (Kap. 4.3.1.4).



Obr. 7.9 Pevná betónová hať s nízkym Jamborovým prahom

Pri výstavbe a najmä pri rekonštrukcii pevných hatí je okrem ekonomického hľadiska dôležitý aj faktor vhodného začlenenia hate do prostredia (Obr. 7.10, Obr. 10.11). Tejto požiadavke sa často vo väčšej či menšej miere podriaďuje aj optimálna hydraulická účinnosť hate.

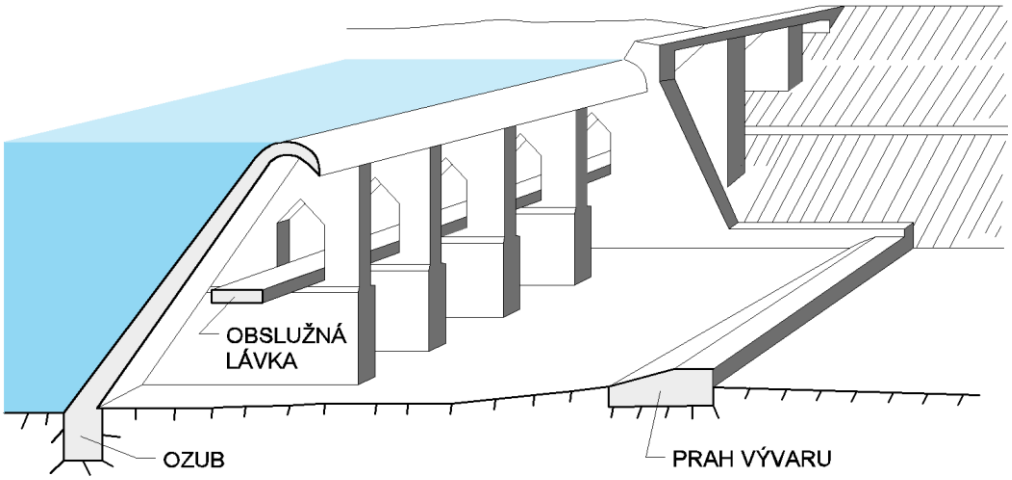
Obr. 7.10 Rekonštruovaná pevná hať Svetlá nad Sázavou, ČR (Foto: ©Jaroslav Kováč)

7.4 Prefabrikované hate

Rozvoj železobetónu a jeho využitie vo vodnom staviteľstve prispelo aj k navrhovaniu a rozvoju prefabrikovaných železobetónových konštrukcií. Ako prvý navrhol takúto konštrukciu nórsky inžinier Ambursen. Preto býva tento typ hatí označovaný ako – Ambursenova hať.

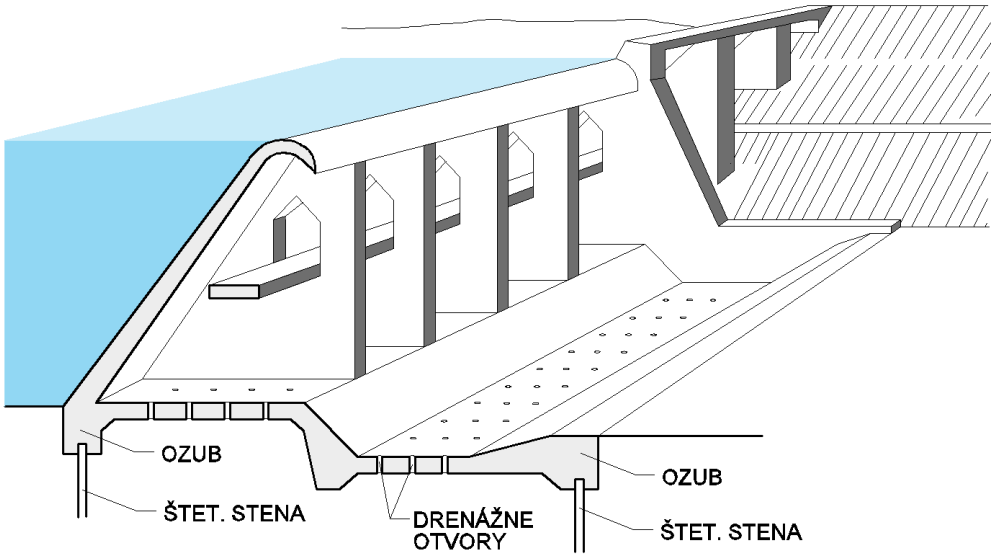
Prefabrikované hate sú zložené z tenkostenných železobetónových prvkov tvoriacich duté konštrukcie. Dôsledkom toho sú takéto konštrukcie ľahké a hlavne pri väčších hradených výškach horšie odolávajú hydrostatickému tlaku vody. Z tohto dôvodu majú prefabrikované hate trojuholníkový tvar, so šikmou návodnou stranou železobetónovej dosky, ktorá je priťažovaná práve vodným stĺpcom, s výškou zodpovedajúcou polohe hladiny stáleho vzdutia nad haťou. Šikmá železobetónová doska je osadená na železobetónových pilieroch na dolnom konci rozšírených do základových pätiek; pričom piliere sú od seba vzdialené $2{,}0$ až $4{,}0$ m. V hornej časti pilierov sa umiestňujú prechodové otvory, prepojené obslužnou lávkou, ktoré umožňujú kontrolu celej hate. V prípade založenia hate na *skalnom podloží* má každý pilier

vlastnú základovú pätku. Na spodnom okraji šikmej železobetónovej dosky je vedený železobetónový ozub (Obr. 7.11). Vývar pri založení na zdravej nerozpukanej skale tvorí iba prah. Zaviazanie hate do brehov je realizované trojuholníkovou železobetónovou stenou.



Obr. 7.11 Schéma železobetónovej pevnej hate typu Ambursen založenej na skalnom podloží

V prípade založenia hate na *neskalnom podloží* nie je vyššie uvedený spôsob zakladania možný. Základová doska musí mať na návodnej aj vzdušnej strane vytvorené ozuby nabetónované na štetovnicové steny (Obr. 7.12). Na zmiernenie vztlaku sú v základovej doske umiestnené drenážne otvory, pretože subtílna konštrukcia len s problémami odoláva nadľahčovaniu. Pri vyšších konštrukciách sú piliere proti priečnemu pohybu zabezpečené vystužovacími trámami. V hornej časti pilierov sú umiestnené otvory prepojené obslužnou lávkou.



Obr. 7.12 Schéma železobetónovej pevnej hate typu Ambursen založenej na neskalnom podloží

Kontrolné otázky

Na základe akých kritérií delíme pevné hate?

Aké sú základné konštrukčné princípy drevených hatí?

Aké sú základné konštrukčné princípy kamenných a murovaný hatí?

Aké sú základné konštrukčné princípy kamenných hatí?

Aké sú základné konštrukčné princípy betónových hatí?

Čo sú prefabrikované hate?

Pre hradenie haťových polí je možné navrhnúť rôzne typy pohyblivých uzáverov, ale žiadny z používaných typov nemá univerzálne uplatnenie.

8 Pohyblivé hradiace uzávery

Pohyblivé hradiace uzávery sú súčasťou tzv. *pohyblivých hatí* (Kap. 3.4), ktorými je možné podľa potreby manipulovať (zdvíhať, spúšťať, sklápať, resp. otáčať) a regulovať veľkosť plochy, cez ktorú preteká voda tak, aby sa hladina vzdutej vody v zdrži nad haťou udržovala na požadovanej úrovni (Obr. 3.13). Spolu s pevnou spodnou stavbou hate a piliermi tvoria jeden celok.

Základnou požiadavkou na hradiaci uzáver je, aby s ním bolo možné manipulovať za všetkých aj nepriaznivých podmienok, napr. mráz, prechod veľkých vôd, zlé poveternostné podmienky. Uzáver by mal mať schopnosť jemnej regulácie prietokov a mal by byť schopný spoľahlivého prevádzania splavenín, ľadu a plávajúcich predmetov. Konštrukcia uzáverov by mala byť dostatočne tuhá, čo najjednoduchšieho tvaru a dobre prístupná pre prípadné revízie a údržbu (napr. výmena tesnenia, ovládacích prvkov a pod.). Tvar obtekaných plôch uzáverov by mal byť taký, aby prepadajúca, resp. vytekajúca voda nezasahovala nosnú konštrukciu, pretože by to mohlo spôsobiť chvenie alebo aj prípadné poškodenie konštrukcie.

Pohyblivé hradiace uzávery je možné rozdeliť podľa:

- členenia na:
  - **delené po šírke** (napr. dvojitá klapka),
  - **delené po výške** (napr. dvojité stavidlo, dvojitý segment).
- spôsobu ovládania na:
  - **hydraulicky ovládané** (servovalcom),
  - **mechanicky ovládané** (elektromotorom),
  - **ručne ovládané.**
- spôsobu pohybu na:
  - **zdvižné** (napr. zdvižné stavidlo, zdvižný segment)
  - **spustné** (napr. spustné stavidlo, spustný segment),
  - **sklopné** (klapka, poklop),
  - **otočné** (valcová hať).
- použitého materiálu na:
  - **drevené** (napr. stavidlá pre malé hradiace výšky)
  - **oceľové** (napr. segment, klapka),
  - **kombinácia ocele a dreva**,
  - **guma** (vakové uzávery).

Medzi najčastejšie používané uzávery patria **stavidlá**, **klapky**, **segmenty** a **vaky**. Medzi menej často používané uzávery patria napr. **hydrostatické uzávery** alebo **valcové uzávery**.

Vo všeobecnosti sa hradiace uzávery skladajú z:

- *hradiacej plochy*,
- *nosného systému* (zabezpečuje pevnosť a odolnosť uzáveru proti zaťaženiu),
- *ovládacieho mechanizmu* (hydraulické, mechanické, ručné),
- *tesnenia* (bráni prieniku vody medzi konštrukciou uzáveru a stabilných častí hate).

8.1 Voľba typu uzáveru

Pri intenzívnom plaveninovom aj splaveninovom režime je výhodné použiť uzávery delené po výške (stavidlá, resp. segmenty s nasadenou klapkou, dvojdielne stavidlá, resp. segmenty).

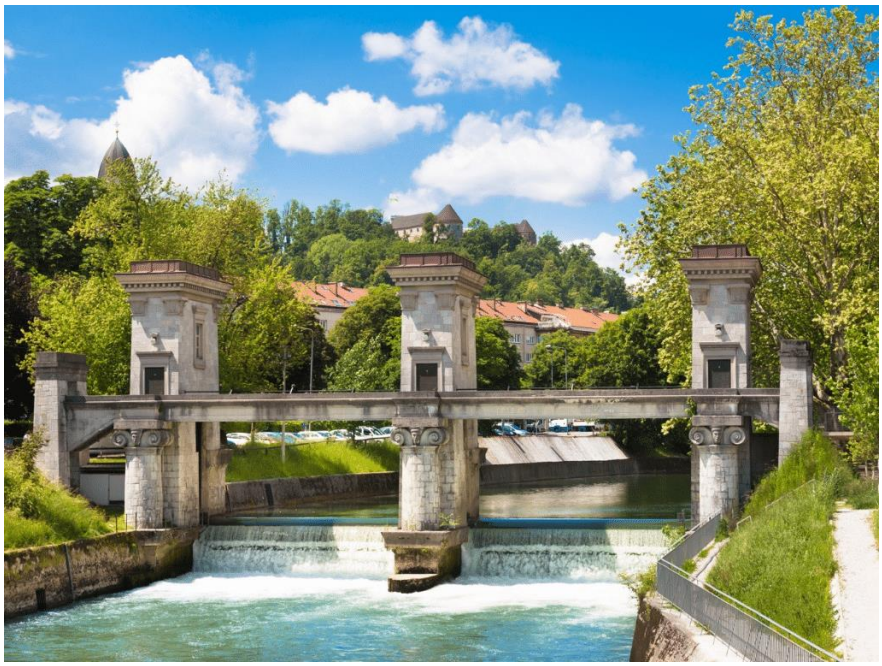
Pre hradenie haťových polí je možné navrhnúť rôzne typy pohyblivých uzáverov, ale žiadny z používaných typov nemá univerzálne uplatnenie.

Výber vhodného typu uzáveru závisí od:

- ***rozmerov haťových polí*** (šírka haťového poľa, hradiaca výška),
- ***založenie spodnej stavby a pilierov a spôsob prenesenia zaťaženia***: výhodné sú uzávery, ktoré prenášajú zaťaženie rovnomerne po celej dĺžke (napr. klapkové, vakové).
- ***prevádzkových podmienok hate:***
  - *plaveninový režim toku a ľadochod:* pri intenzívnom plaveninovom režime, resp. pri ľadochode sú výhodné uzávery, ktoré regulujú prietok prepadom ponad konštrukciu a tým umožňujú previesť plávajúce predmety, resp. ľadové kryhy (napr. klapka, spustné stavidlo, resp. spustný segment). Uzávery, ktoré regulujú prietok prepadom sú schopné jemnejšej regulácie prietoku (hladiny) ako uzávery regulujúce prietok výtokom.
  - *splaveninový režim toku:* pri intenzívnom splaveninovom režime (štrkonosné toky) sú výhodnejšie uzávery, ktoré regulujú prietok výtokom popod konštrukciu a tým umožňujú vytvoriť v blízkosti uzáveru dostatočnú rýchlosť prúdenia vody na prevedenie (prepláchnutie) splavenín zo zdrže nad haťou pod hať (napr. zdvižné stavidlo, zdvižný segment).

    Pri intenzívnom plaveninovom aj splaveninovom režime je výhodné použiť uzávery delené po výške (stavidlá, resp. segmenty s nasadenou klapkou, dvojdielne stavidlá, resp. segmenty).
  - *zimný režim:* výhodné sú typy uzáverov, ktoré majú možnosť ochrany exponovaných častí konštrukcie pred namŕzaním, resp. umožňujú prípadné rozmrazovanie (napr. duté klapky).
  - *hodnoty extrémov teplôt.*
- ***použitého materiálu, spôsobu dopravy a montáže***: v súčasnosti s výhodou používajú oceľové zvárané duté prierezy, ktoré sú výhodné z hľadiska statického, hydraulického, estetického aj investičného.
- ***estetického hľadiska***: v rovinatom území je možné lepšie začleniť do krajiny hať z nízkymi piliermi (napr. klapka). V úzkom údolí, ale ani v zastavanom území však nepôsobia ani hate

s vysokými piliermi príliš rušivo (napr. zdvižný segment, resp. stavidlo), najmä ak je hať aj vhodne architektonicky stvárnená (Obr. 8.1, Obr. 8.2).



Obr. 8.1 Stavidlová hať Ljubljana na rieke Ljubljanica, Slovinsko (Zdroj: Ljubljana Tourism Photo Library, ©M.Kastelič)

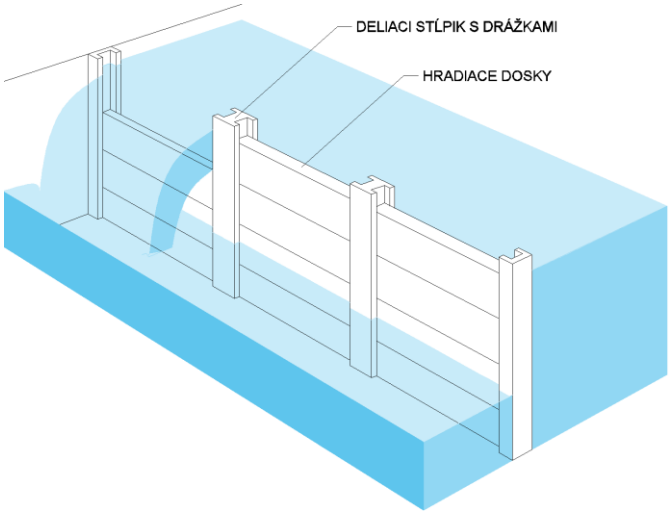
Obr. 8.2 Stavidlová hať Jagir, Surabaya, Indonézia (Zdroj: trip.com)

Ďalej sú popísané najčastejšie používané typy pohyblivých hradiacich uzáverov.

8.2 Stavidlové uzávery

Celistvé stavidlá hradia celú svetlú šírku hať ového poľa na rozdiel od členených, pri ktorých sa hať ové pole delí deliacimi stĺpikmi s drážkami.

Stavidlové uzávery sú najstaršími pohyblivými hať ovými uzávermi. Stavidlá vyrobené z dreva mali jednoduchý obdĺžnikový priečny rez. Vzhľadom na nízku únosnosť dreva ich bolo nutné deliť po dĺžke aj výške na menšie stavidlá. Takto vznikali tzv. členené stavidlové hate (Obr. 8.3), ktoré boli tvorené jednotlivými hradiacimi doskami zasúvanými do vodiacich drážok deliacich stĺpikov, z ktorých bolo zaťaženie od hydrostatického tlaku prenášané do spodnej stavby hate. Prietok cez takúto hať bol regulovaný vyberaním alebo pridávaním jednotlivých hradiacich dosiek.



Obr. 8.3 Členená stavidlová hať

S používaním ocele bolo možné začať navrhovať *celistvé stavidlá*. Na rozdiel od členených stavidlových hatí je celistvé stavidlo zasunuté do drážok hať ových pilierov, takže umožňuje uzatvoriť celú šírku hať ového poľa.

Stavidlové uzávery je možné rozdeliť podľa:

- spôsobu pohybu v drážkach hať ových pilierov na:
  - **posuvné –** tabuľové (doskové) stavidlá (Kap. 8.2.2)),
  - **pojazdné –** na valčekových alebo kolieskových podvozkoch (Kap. 8.2.3)).
- spôsobu pohybu na:
  - **zdvižné** (Kap. 8.2.6),
  - **spustné** (Kap. 8.2.7).
- členenia na:
  - **celistvé (jednodielne) –** zdvižné alebo spustné,
  - **delené po výške –** s nasadenou klapkou (Kap. 8.2.8) alebo dvojité (Kap. 8.2.9)).

8.2.1 Nosný systém stavidiel

Hradiace stena preberá tlak vody, ktorý je z nej prenášaný na priečniky, z priečnikov na pozdĺžniky, z pozdĺžnikov do pilierov hate a následne do spodnej stavby hate.

Základnými prvkami nosného systému stavidlových uzáverov sú:

- hradiaca stena,
- zvislé nosníky – *priečniky*,
- vodorovné nosníky – *pozdĺžniky*.

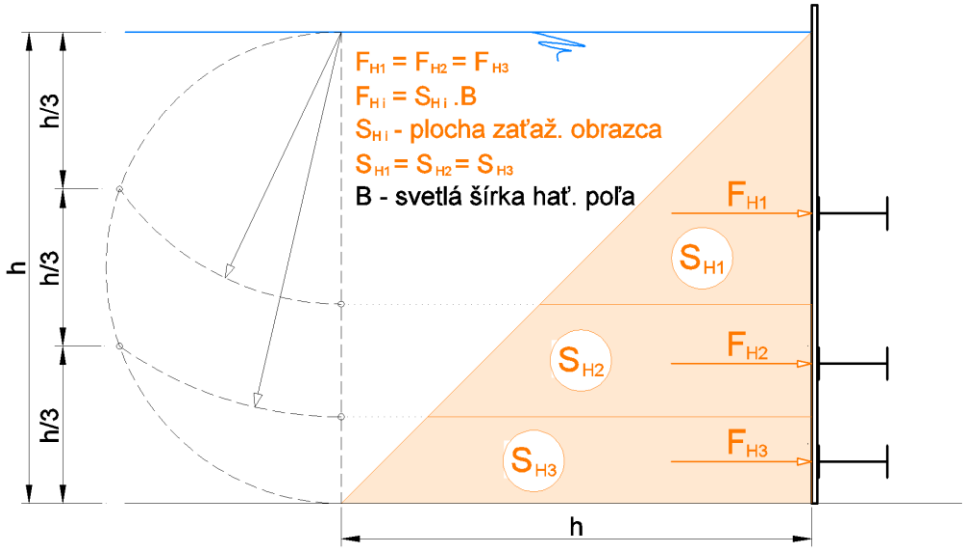
Hradiace stena je vo väčšine prípadov rovinná, vytvorená z oceľového plechu. Vzhľadom na možný vznik vlnenia hladiny hornej vody spôsobeného vetrom je konštrukcia stavidla prevýšená nad hladinu normálneho vzdutia o 0,2 až 0,4 m. Aby plech hradiacej steny mal hospodárnu hrúbku je podopretý (vystužený) sústavou priečnikov a/alebo pozdĺžnikov (Obr. 8.4). Hradiace stena bezprostredne preberá tlak vody, ktorý je z nej prenášaný na priečniky, z priečnikov na pozdĺžniky, z pozdĺžnikov do pilierov hate a následne do spodnej stavby hate. Pozdĺžniky a priečniky sú vyrobené z plnostenných valcovaných profily tvaru I, L,I alebo T.

Obr. 8.4 Vystuženie hradiacej steny stavidlového uzáveru pomocou priečnikov a pozdĺžnikov (Zdroj: hydrohrom.cz)

Priečniky sú od seba vzdialené rovnomerne. *Pozdĺžniky* sú od seba vzdialené tak, aby preberali rovnaké zaťaženie od tlaku vody. To umožňuje navrhnúť rovnaký profil pre každý pozdĺžnik.

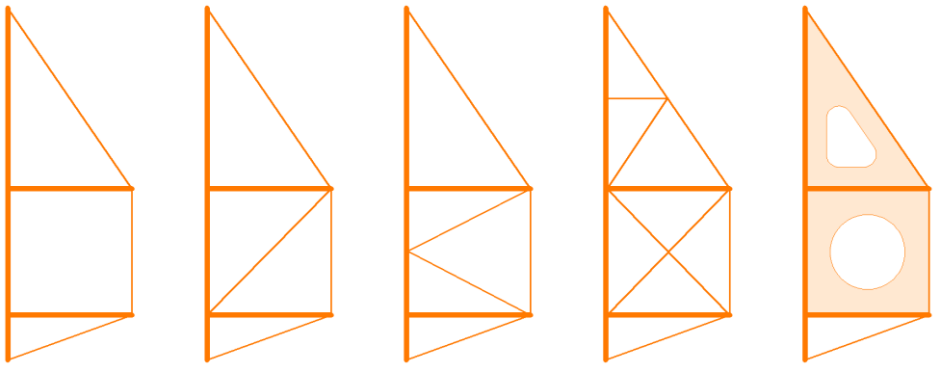
Pozdĺžniky stavidlového uzáveru sú od seba vzdialené tak, aby preberali rovnaké zaťaženie od tlaku vody. To umožňuje navrhnúť rovnaký profil pre každý pozdĺžnik.

Grafické riešenie rozdelenia stavidla, ktoré by má byť vystužené troma rovnakými pozdĺžnymi nosníkmi je na Obr. 8.5.



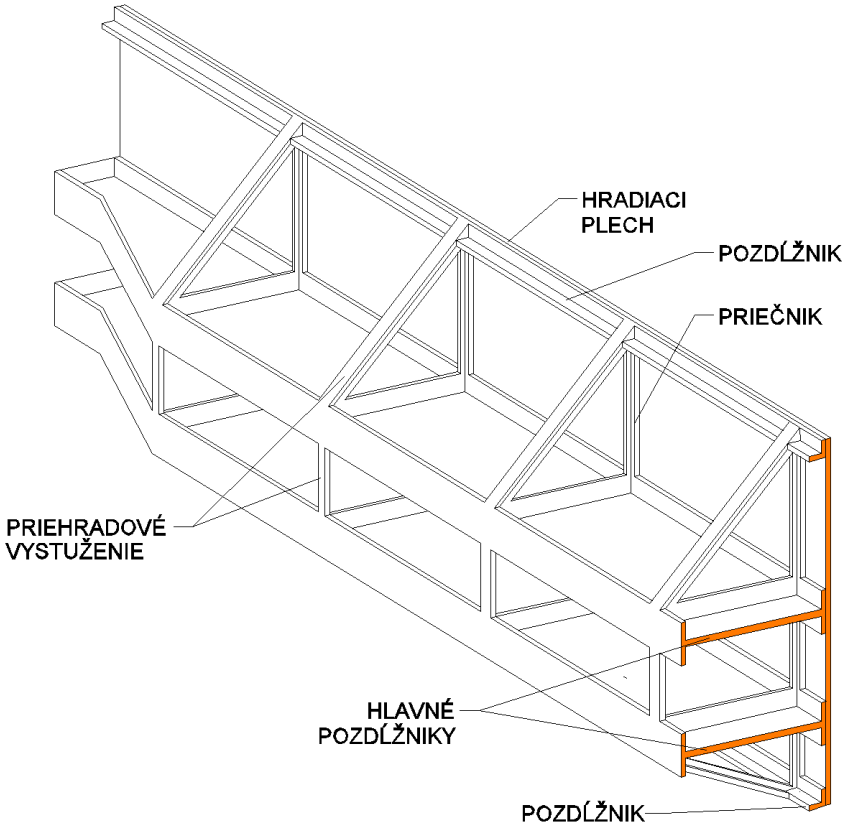
Obr. 8.5 Grafické riešenie vystuženia hradiaceho steny stavidlového uzáveru troma pozdĺžnikmi

Používanie stále kvalitnejších ocelí a zvárania viedlo k zníženiu počtu pozdĺžnikov a postupne sa prešlo na konštrukcie iba s dvoma hlavnými pozdĺžnymi nosníkmi (Obr. 8.7, Obr. 8.8), ktoré môžu byť plnostenné alebo priehradové – nitované (náročná ochrana proti korózii) alebo zvárané. Umiestenie hlavných pozdĺžnikov je také, aby boli obidva rovnako zaťažené. Pri ich návrhu je nutné dbať na to, aby do spodného nosníka nenarážala voda vytekajúca pod stavidlom (Obr. 8.10). Hrúbka hradiaceho plechu je po celej výške rovnaká, aj keď v hornej časti konštrukcie nie je plne využitá. Vzhľadom na nebezpečenstvo deformácie hradiaceho plechu pri náraze plávajúcich predmetov sa na hornej hrane stavidla navrhuje pozdĺžnik. Na spodnom okraji stavidla sa navrhuje pozdĺžnik, ktorý sa prispôsobuje typu zvoleného tesnenia (napr. dubový trámec). Vedľajšiu výstuž tvoria priečniky. Priečna tuhosť je zabezpečená priehradovým vystužením (Obr. 8.6), ktoré prenáša zaťaženie z priečnikov na hlavné pozdĺžniky a zachytáva náhodné sily, ktoré by nepôsobili v rovinách hlavných pozdĺžnikov, a mohli by spôsobiť krútenie konštrukcie.



Obr. 8.6 Rôzne spôsoby priehradového vystuženia stavidlového uzáveru

Používanie stále kvalitnejších ocelí a zvárania viedlo k zníženiu počtu pozdĺžnikov a postupne sa prešlo na konštrukcie iba s dvoma hlavnými pozdĺžnymi nosníkmi.



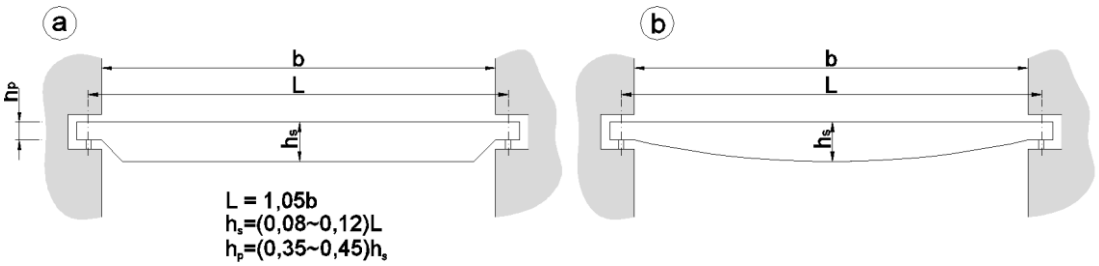
Obr. 8.7 Stavidlový uzáver s dvoma hlavnými pozdĺžnymi nosníkmi s piehradovým vystužením

Obr. 8.8 Stavidlový uzáver s dvoma hlavnými pozdĺžnymi nosníkmi s piehradovým vystužením – regulačný objekt Trenčianske Biskupice na Váhu (Zdroj: mapio.net, © Petr Havlík)

V pôdoryse sa hlavné pozdĺžne nosníky môžu na ich koncoch zúžiť tak, aby bolo možné navrhnúť čo najmenšie drážky v pilieri hate.

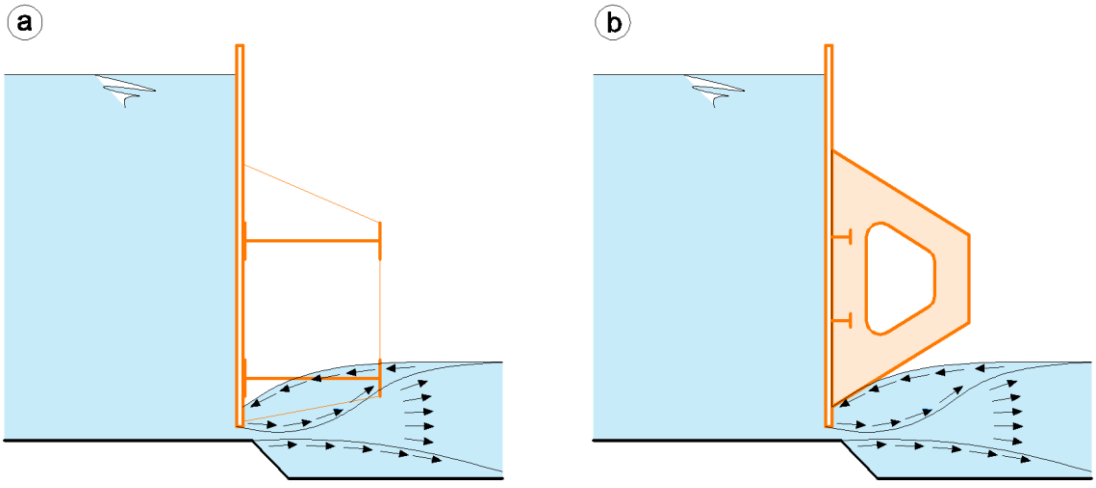
Skriňové systémy majú lepšiu možnosť ochrany proti korózii a možnosť vyhrievania uzavretého priestoru v zime.

V pôdoryse sa hlavné pozdĺžne nosníky môžu na ich koncoch zúžiť, aby bolo možné navrhnúť čo najmenšie drážky v pilieri hate (Obr. 8.9a). Zužovanie môže byť aj postupné tak, že zodpovedá priebehu ohybových momentov, pričom najväčšia výška nosníka je v jeho strede a smerom k pilierom sa nosník zužuje (Obr. 8.9b).



Obr. 8.9 Pôdorysný tvar hlavného pozdĺžneho nosníka stavidlového uzávera

Pri výtoku vody spod stavidla je najmä pri nízkych stavidlách dolný pozdĺžny nosník v priamom dosahu výtokového lúča a ním unášaných splavenín a v dosahu tvoriacich sa spätných valcov vodného skoku vo vývare (Obr. 8.10a). Kmitajúci výtokový lúč môže spôsobiť chvenia celej konštrukcie a narážajúce splaveniny môžu spôsobiť aj poškodenie nosníka. Tieto okolnosti viedli k zošikmeniu dolného nosníka tak, aby bol mimo dosahu výtokového lúča a spätných valcov vodného skoku, a k návrhu tzv. skriňového stavidla (Obr. 8.10b).



Obr. 8.10 Vplyv výtokového lúča na konštrukciu stavidlového uzáveru:
a – dvojpásový systém, b – skriňový systém

Nosný systém skriňového stavidla pozostáva z dutého uzavretého prierezu. Horná plocha skrine je na vzdušnej strane sklonená v smere toku, aby dažďová alebo iná voda mohla stiecť do dolnej vody.

Skriňové systémy majú okrem lepšieho hydraulického tvaru, na ktorý nenaráža prúdiaca voda, aj lepšiu možnosť ochrany proti korózii a možnosť vyhrievania uzavretého priestoru v zime. Výhodou je aj to, že sa na hladkých povrchoch stavidla nezachytávajú plávajúce predmety. Celistvé plochy skriňového nosníka taktiež zabraňujú oveľa viac vzniku námrazy a tvoreniu ľadu, ako členené priehradové nosníky.

Pri vysokom stave dolnej vody môžu skriňové stavidlá pôsobiť ako plavák. Preto sa navrhujú v stavidle otvory, do ktorých sa však môžu dostať jemné splaveniny, kal a plaveniny. Pri zanesení vnútorných priestorov stavidla je nutné ich v rámci údržby vystriekať, čím sa zvyšujú náklady na údržbu. Náklady na údržbu zvyšujú aj práce súvisiace s obnovou náterov vnútorných plôch.

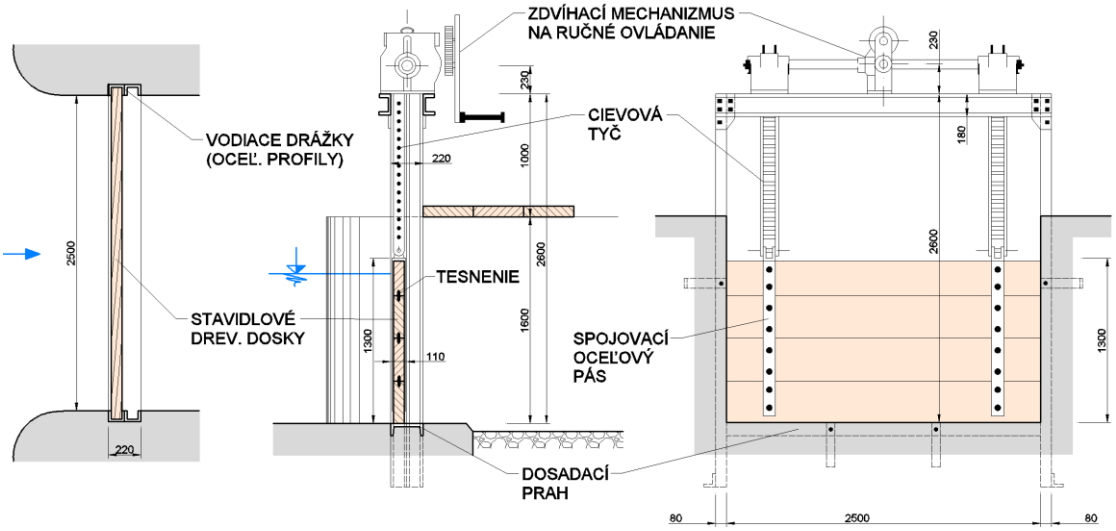
8.2.2 Tabuľové (doskové) stavidlá

Pre malé hradiace výšky (1,0 až 1,5 m) a šírky (2,0 až 3,0 m) sa aj v súčasnosti používajú tzv. tabuľové (doskové) uzávery.

Nevýhodou tabuľových stavidiel je relatívne veľké trenie vznikajúce medzi hradiacou tabuľou a vodiacimi drážkami. Pri väčších hradených výškach sa preto navrhujú dvojdielne tabuľové stavidlá.

Hradiaca tabuľa je vyrobená z drevených dosiek (fošní 6,0 až 10,0 cm hrubých) spojených oceľovými pásmi (Obr. 8.11 a Obr. 8.12) alebo hradiacu tabuľu tvorí oceľový plech (vzhľadom ku korózii min. 8,0 mm hrubý) privarený na oceľový rám z U-profilov (Obr. 8.13 a Obr. 8.14). Oceľový plech môže byť prípadne vystužený priečnikmi alebo pozdĺžnikmi. Hradiaca tabuľa je obyčajne zavesená na *cievovej/ých tyči/ach* (Obr. 8.12), resp. na *trapézovej závitovej tyči* (Obr. 8.14) a je vedená v drážkach z U-profilov. U-profily sú súčasťou rámu ukotveného do pilierov a spodnej stavby. Pri použití iba jedného závesného prvku môže pri väčších hradených šírkach prísť pri manipulácii s hradiacou tabuľou k jej vzpriečeniu. Pri väčších hradených šírkach sa preto používajú dva závesné prvky, pri ktorých je však nutné zabezpečiť synchronizáciu pohybu. Dolný vodorovný U-profil tvorí tzv. *dosadací prah*. Na horných vodorovných U-profiloch je umiestnený pohybovací mechanizmus stavidla na ručný, resp. elektromechanický pohon.

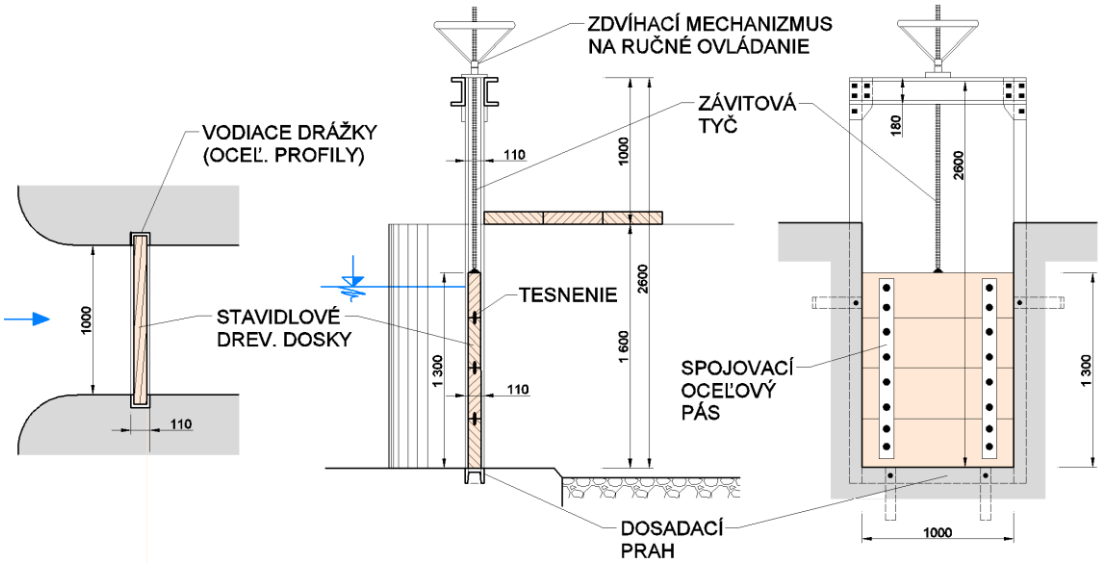
Nevýhodou tabuľových stavidiel je relatívne veľké trenie vznikajúce medzi hradiacou tabuľou a vodiacimi drážkami. Pri väčších hradených výškach sa preto navrhujú dvojdielne tabuľové stavidlá.



Obr. 8.11 Tabuľové (doskové) stavidlo s hradiacou tabuľou z drevených dosák; zavesenou na cievových tyčiach ovládanou pomocou ručného pohonu

Obr. 8.12 Tabuľové (doskové) stavidlá s hradiacimi tabuľami z drevených dosák; zavesených na cievových tyčiach ovládaných elektromotorom (Zdroj: fornax-sro.cz)

Obr. 8.13 Tabuľové (doskové) stavidlo s hradiacou tabuľou z oceľového plechu zavesenou na cievových tyčiach ovládaných pomocou ručného pohonu (Zdroj: fornax-sro.cz)



Obr. 8.14 Tabuľové (doskového) stavidlo s hradiacou tabuľou z drevených dosák zavesenou na závitovej tyči ovládanej na ručný pohon

Odporúča sa, aby pri hradení plochy väčšej ako 17 m², sa stavidlá pohybovali v zvislých drážkach umiestnených v pilieroch na valčekových alebo kolieskových podvozkoch.

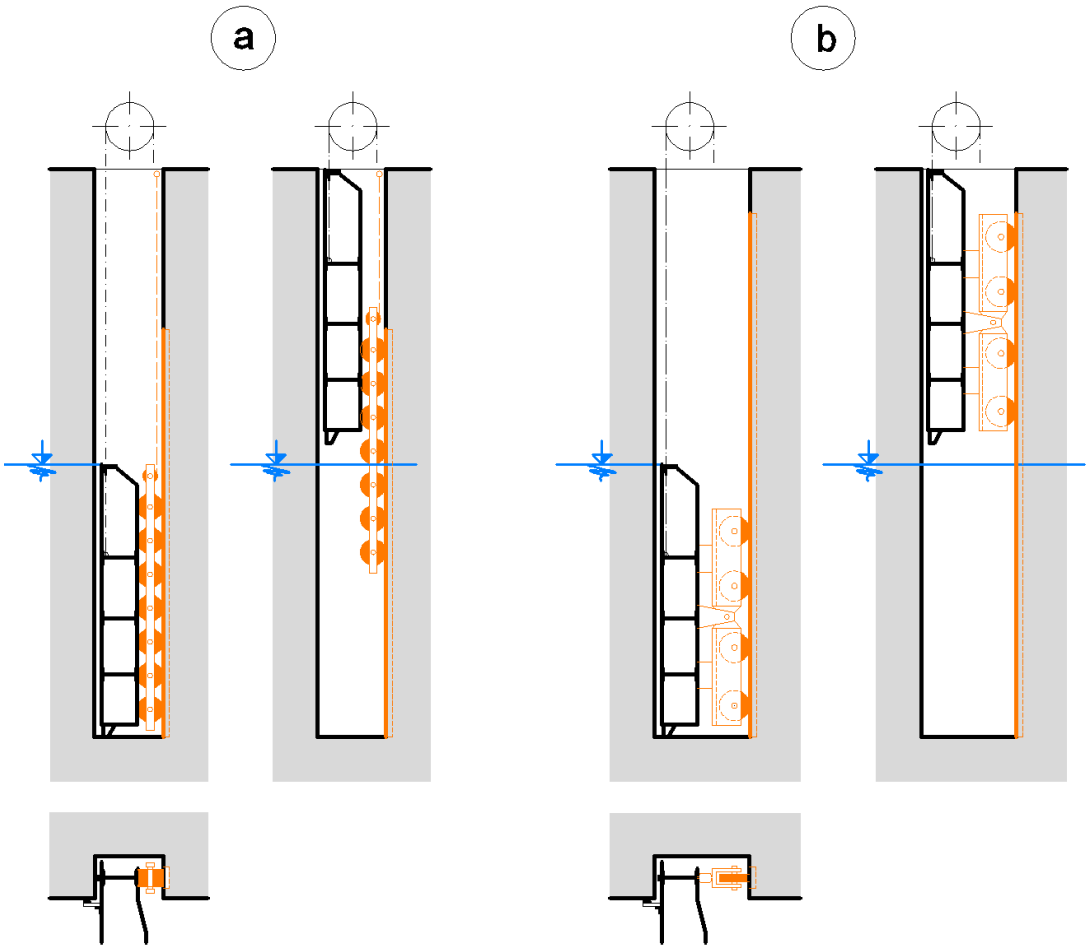
8.2.3 Pojazdné systémy stavidiel

Tabuľové (doskové) uzávery (Kap. 8.2.2), tiež v literatúre označované ako *posuvné stavidlá*, sa pohybujú v drážkach pilierov a pri pohybe musia prekonať nie len samotnú tiaž stavidla, ale aj sily trenia. Trecie sily vznikajú pri pohybe stavidla na styku hradiacej steny a drážok piliera a sú spôsobené hydrostatickým tlakom vody na hradiacu stenu. Odporúča sa, aby sa pri hradení plochy väčšej ako 17 m^2 stavidlá pohybovali v zvislých drážkach umiestnených v pilieroch na **valčekových** (Obr. 8.15a) alebo **kolieskových podvozkoch** (Obr. 8.15b).

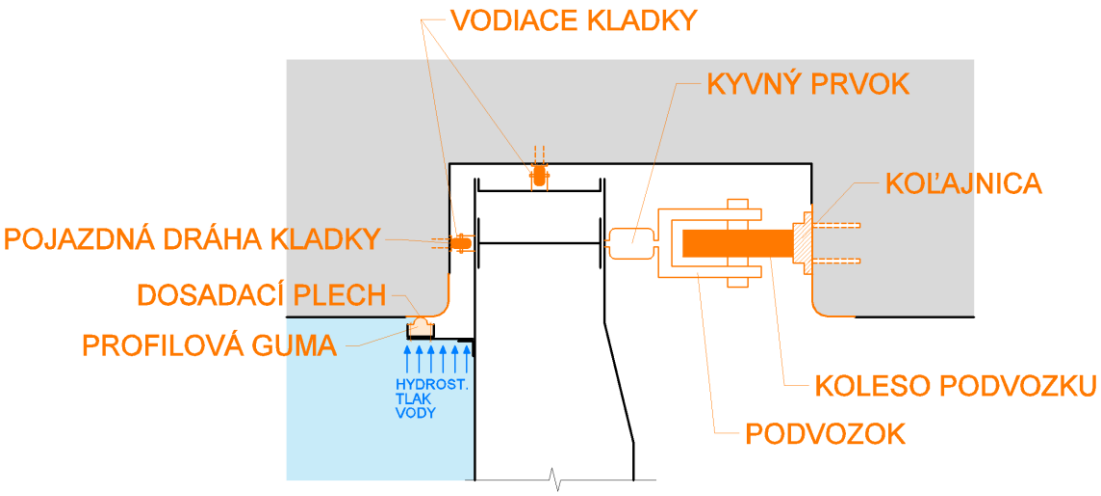
Drážky piliera musia byť čo najmenšie, ale musia sa dať do nich umiestniť kolesový podvozok s koľajnicou a vodiace kladky s pojazdnými dráhami (Obr. 8.16). Medzi stavidlo a kolieskový podvozok sa navrhuje kyvný prvok, ktorý zaisťuje plné dosadanie podvozku (koliesok) na koľajnicu aj pri priehybe stavidla, ku ktorému dochádza najmä pri veľkých hradených šírkach. Aby neprišlo k prekročeniu namáhania koľajnice v sústredenom tlaku musí byť táto dostatočne široká (80 až 160 mm) a musí byť vyrobená z liatiny vysokej pevnosti. Hĺbka drážky piliera musí byť dostatočná na to, aby bolo zaistené roznášanie zaťaženia z koľajnice na haťový pilier (približne 1 až 1,5 m).

Na rozdiel od tabuľových stavidiel, pri ktorých je tesnosť uzáveru zabezpečená hydrostatickým tlakom vody, ktorý po celej výške pritláča hradiacu dosku na drážku piliera, je v prípade pojazdných stavidiel nutné tesnosť zabezpečiť pomocou **bočného tesnenia,** umiestneného po celej výške hradiacej steny stavidla medzi oceľovou konzolou pripevnenou na hradiacej stene a pilierom (Obr. 8.16). Tesnenie je (vplyvom hydrostatického tlaku) pritláčané na dosadací plech ukotvený na stenu piliera.

Hĺbka drážky piliera musí byť dostatočná na to, aby bolo zaistené roznášanie zaťaženia z koľajnice na haťový pilier (cca 1 až 1,5 m).



Obr. 8.15 Schématické zobrazenie uloženia pojazdných systémov stavidiel v drážkach pilierov: a – valčekový podvozok, b – kolieskový podvozok



Obr. 8.16 Schéma uloženia stavidla na kolieskovom podvozku v drážke haťového piliera

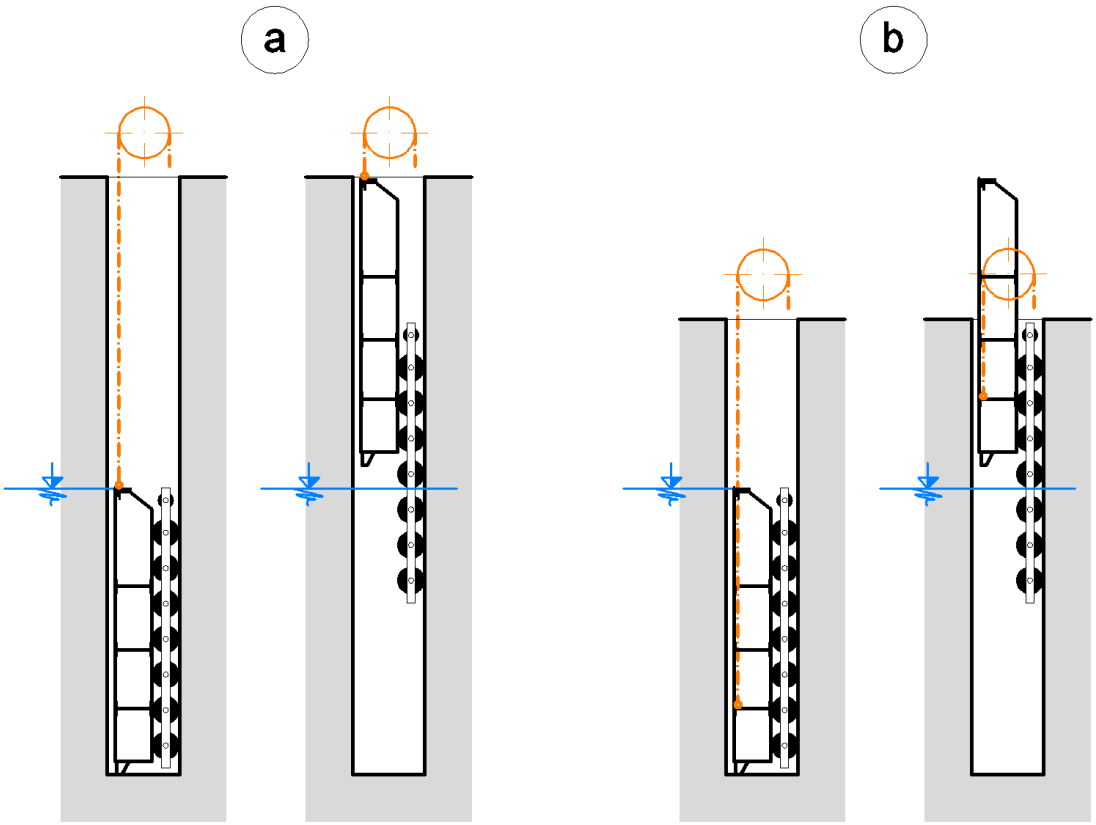
8.2.4 Ovládanie stavidiel

Pre pojazdné stavidlá najčastejšie volíme voľné mechanické zdvíhacie prvky (ako napr. laná alebo Gallove reťaze – Obr. 8.23). Stavidlá sú ovládané a vedené po koľajniciach osadených v osobitne upravených zvislých, prípadne po prúde mierne sklonených ($8:1$ až $10:1$) drážkach pilierov (Obr. 8.35). Naklonenie drážok po prúde sa navrhuje s cieľom zmenšenia zdvíhacej sily stavidla. Naklonenie drážok po prúde nie je z konštrukčných dôvodov možné pri spustných (Kap. 8.2.7) a dvojdielnych stavidlách (Kap. 8.2.8). Zmenšenie zdvíhacej sily stavidla je možné dosiahnuť aj naklonením hradiacej steny stavidla proti prúdu.

8.2.5 Piliere stavidiel

Zníženie výšky piliera umožňuje uchytenie ovládacieho prvku v dolnej časti stavidla.

Haťové piliere stavidlových hatí sú z titulu potreby relatívne hlbokých drážok v pilieroch robustné (Obr. 5.58) a tiež aj pomerne vysoké, aby sa stavidlá mohli vyhradiť ovládacími prvkami (zdvíhadlami) až nad hladinu hornej vody (Kap. 5.5, Obr. 5.60). Zníženie výšky piliera umožňuje uchytenie ovládacieho prvku v dolnej časti stavidla (Obr. 8.17). V takomto prípade však treba dôkladne preveriť, či napr. vplyv vetra nebude mať negatívny vplyv na stabilitu vyhradeného stavidla.



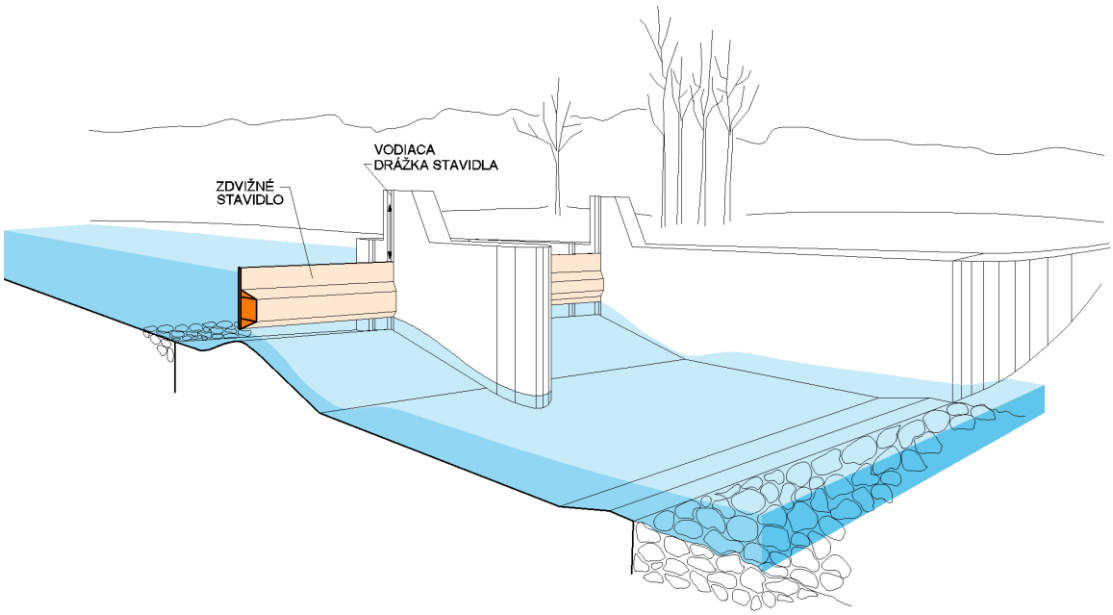
Obr. 8.17 Vplyv uchytenia zdvíhadla na výšku haťového piliera

8.2.6 Zdvižné stavidlá

Zdvižné stavidlá (Obr. 8.18) sa používajú pre menšie hradiace výšky v rozmedzí $2{,}0$ až $4{,}0$ m.

Výhodou zdvižných stavidiel je ich schopnosť prepúšťania splavenín na štrkonosných tokoch vhodným nadvihnutím jedného alebo viacerých stavidiel.

Nevýhodou zdvižných stavidiel sú problémy pri prevádzaní ľadových krýh a plávajúcich predmetov a potreba relatívne vysokých haťových pilierov.



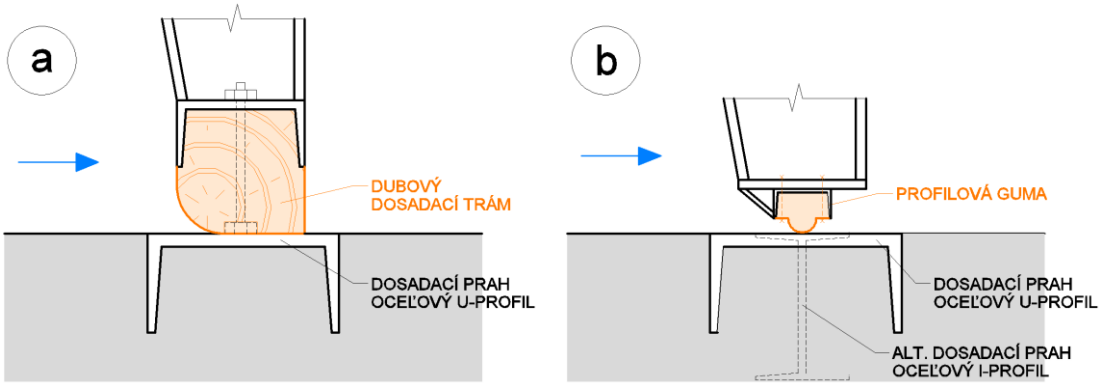
Obr. 8.18 Hať so zdvižným stavidlovým uzáverom

Pri zmene prietoku sa hladina nad haťou udržuje na konštantnej úrovni pomocou regulácie výtokového množstva vody cez otvor/y medzi korunou priepadu a spodným obrysom stavidla/iel. Pri zdvíhaní stavidla sa prietok zväčšuje – hladina v zdrži klesá a naopak, pri spúšťaní stavidla sa prietok znižuje – hladina v zdrži stúpa. Citlivosť tejto regulácie je však veľmi obmedzená najmä pri vyšších vzdutiach a väčších šírkach haťových polí. Výhodou zdvižných stavidiel je však ich schopnosť prepúšťania splavenín na štrkonosných tokoch vhodným nadvihnutím jedného alebo viacerých stavidiel.

Pri prevádzaní ľadových krýh a plávajúcich predmetov sa však naráža na mnoho problémov. Na tesnenia stavidla medzi spodnou stavbou a dolnou hranou stavidla tzv. **prahové tesnenie** sa používa dubový trám, ktorý musí bez otlačenia preniesť celú tiaž stavidla na spodnú stavbu hate (Obr. 8.19a). Na návodnej strane sa tesniaci trám zaobľuje do tvaru výtokovej krivky. Ako tesnenie sa môže použiť aj gumové tesnenie, ktoré sa inštaluje na upravený spodný obrys stavidla (Obr. 8.19b). A práve pri zdvihnutí stavidla cca o $1/6$ hradiacej výšky sa začínajú strhávať jednotlivé ľadové kryhy od hladiny do výtoku pod stavidlom, pričom nie je možné vylúčiť ich nárazy a možnosť deformácie častí, kde je pripojené prahové tesnenie. Z tohto dôvodu sa pri prepúšťaní ľadových krýh a plavenín úplne vyhradí jedno pole s tým, že ostatné polia sú uzatvorené. Pre prevedenie ľadových krýh po celej šírke hate je nutné takúto manipuláciu opakovať postupne pri všetkých poliach. Takáto prevádzka má za následok straty veľkého množstva vody z hornej zdrže.

V prípade, že voda neunáša plávajúce predmety, je možné nadvihnúť stavidlá max. o 40 % výšky vzdutia, v opačnom prípade by mohol do výtokového otvoru vnikať vzduch a mohlo by prísť k rozkmitaniu konštrukcie.

Nevýhodou zdvižných stavidiel je aj potreba relatívne vysokých haťových pilierov (Obr. 8.8).



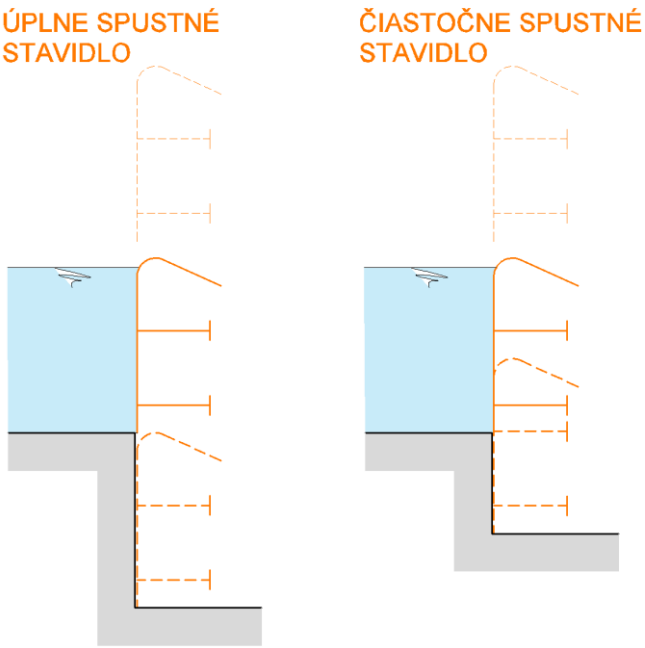
Obr. 8.19 Príklady vodorovného prahového tesnenia zdvižného stavidla

Výhodou spustných stavidiel je oproti stavidlám zdvižným možnosť presnejšej regulácie hladiny nad haťou a schopnosť prepúšťania ľadových krýh a plávajúcich predmetov cez vrchnú časť stavidla.

8.2.7 Spustné stavidlá

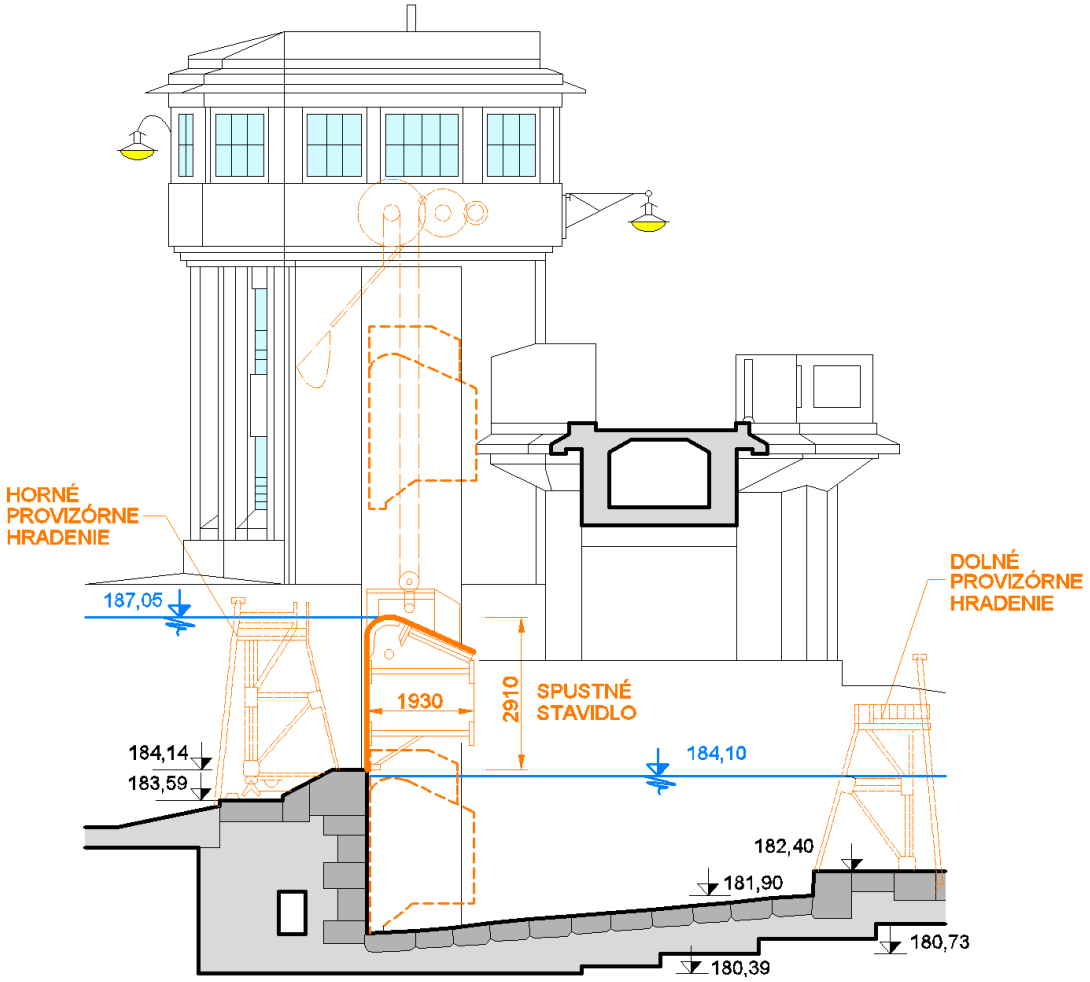
Nedostatočne presná regulácia hladiny v zdrži nad haťou výtokom pod stavidlom viedla k návrhu ***úplne spustných stavidiel*** alebo ***čiastočne spustných stavidiel***, ktoré regulujú hladinu nad haťou prepúšťaním prietoku prepadom cez upravenú vrchnú časť stavidla (Obr. 8.20).

Úplne spustné stavidlá sa používajú pre menšie hradiace výšky cca do 3,0 m. Pri vyhradzovaní sa spustné stavidlá spúšťajú za zvislo upravenú stenu za korunou spodnej stavby, preto môžu byť použité len pri dostatočne vysokých stupňoch. V prípade, že je stupeň menší ako hradiaca výška spustného stavidla, je možné zvýšiť spodnú stavbu prahom, avšak za cenu zmenšenie prietočnej kapacity hate (Obr. 8.21).



Obr. 8.20 Spustné stavidlo – schémy

Priepadovú plochu je nutné navrhnúť tak, aby bol prepadajúci lúč stabilný a prepadajúca voda nenarážala na konštrukciu stavidla.



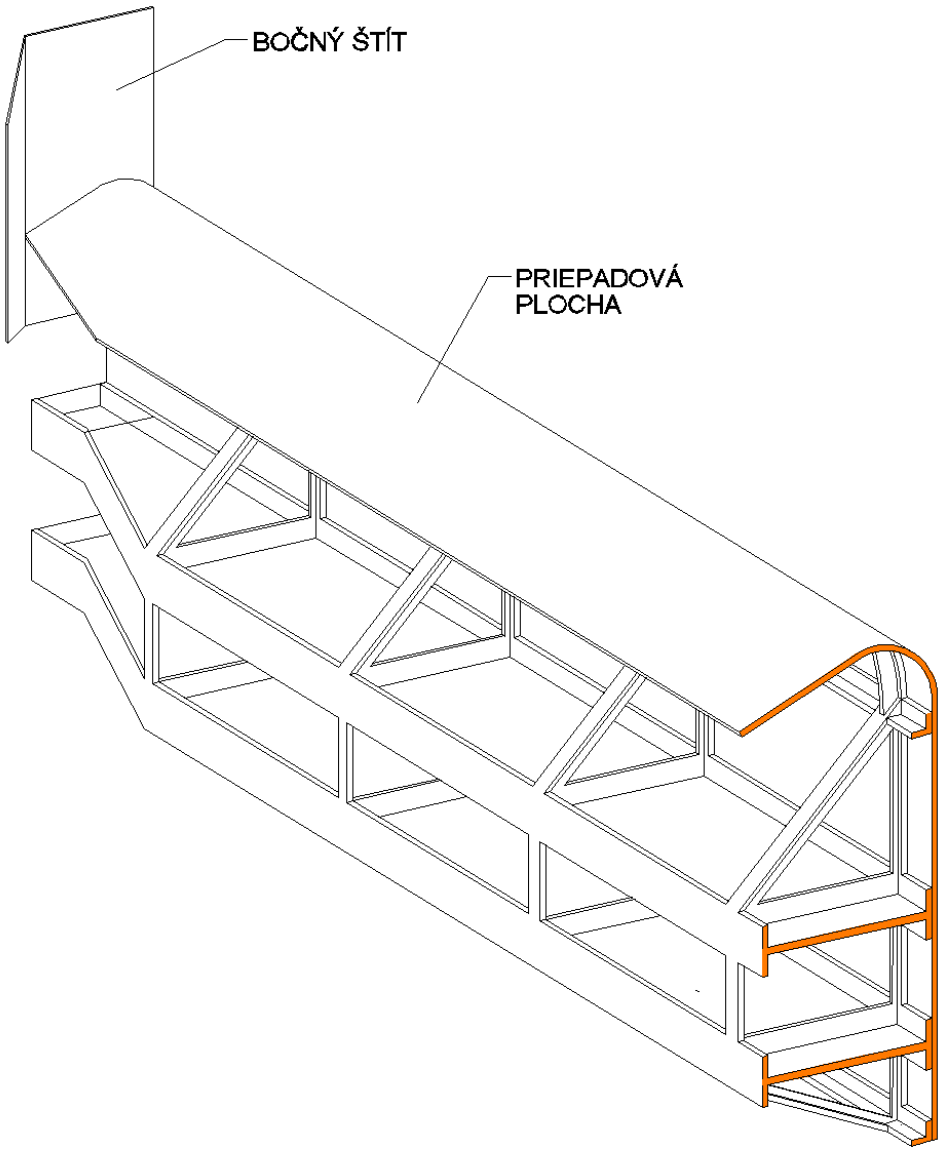
Obr. 8.21 Úplne spustné stavidlo s hradiacou výškou 2,91 m na hati vodného diela Poděbrady na rieke Labe, ČR

Čiastočne spustné stavidlá prevádzajú bežné prietoky prepadom cez stavidlom a až pri vyšších prietokoch sa zdvíhajú nad ich najvyššiu hladinu. Nevýhodou takejto manipulácie je to, že pri zdvíhaní stavidla zo spustenej polohy sa najskôr postupne uzatvára prietočný profil, pričom je nutné počítať aj s postupným zvyšovaním hladiny. Preto je vhodnejšie zaistiť takú manipuláciu, aby sa pred dokončením spustenia stavidla v jednom poli začalo zdvíhať stavidlo v poli druhom, čím sa ale podstatne zmenšuje schopnosť regulácie prietoku celej hate.

Výhodou spustných stavidiel je najmä schopnosť prepúšťania ľadových krýh a plávajúcich predmetov cez vrchnú časť stavidla.

Priepadová plocha sa upravuje tak, aby mala čo najlepšie hydraulické vlastnosti. Ideálnym tvarom je **prúdnicová – mierne tlaková priepadová plocha** (Kap. 4.3.1.3), čo by malo zabezpečiť dostatočnú stabilitu prepadajúceho lúča, a zabrániť tak rozkmitaniu konštrukcie. Aby sa znížila náročnosť vyhotovenia navrhuje sa zaoblenie kruhovým oblúkom, na ktorý nadväzuje ďalšia valcová plocha s väčším polomerom alebo rovinná plocha. Priepadovú plochu je nutné navrhnúť tak, aby prepadajúca voda, resp. plávajúce predmety nenarážali na konštrukciu stavidla. Nosnú konštrukciu stavidla tvoria väčšinou dva hladné pozdĺžne nosníky (Obr. 8.22).

Výška bočných štítov sa preto volí tak, aby chránila drážky iba počas bežných prietokov.

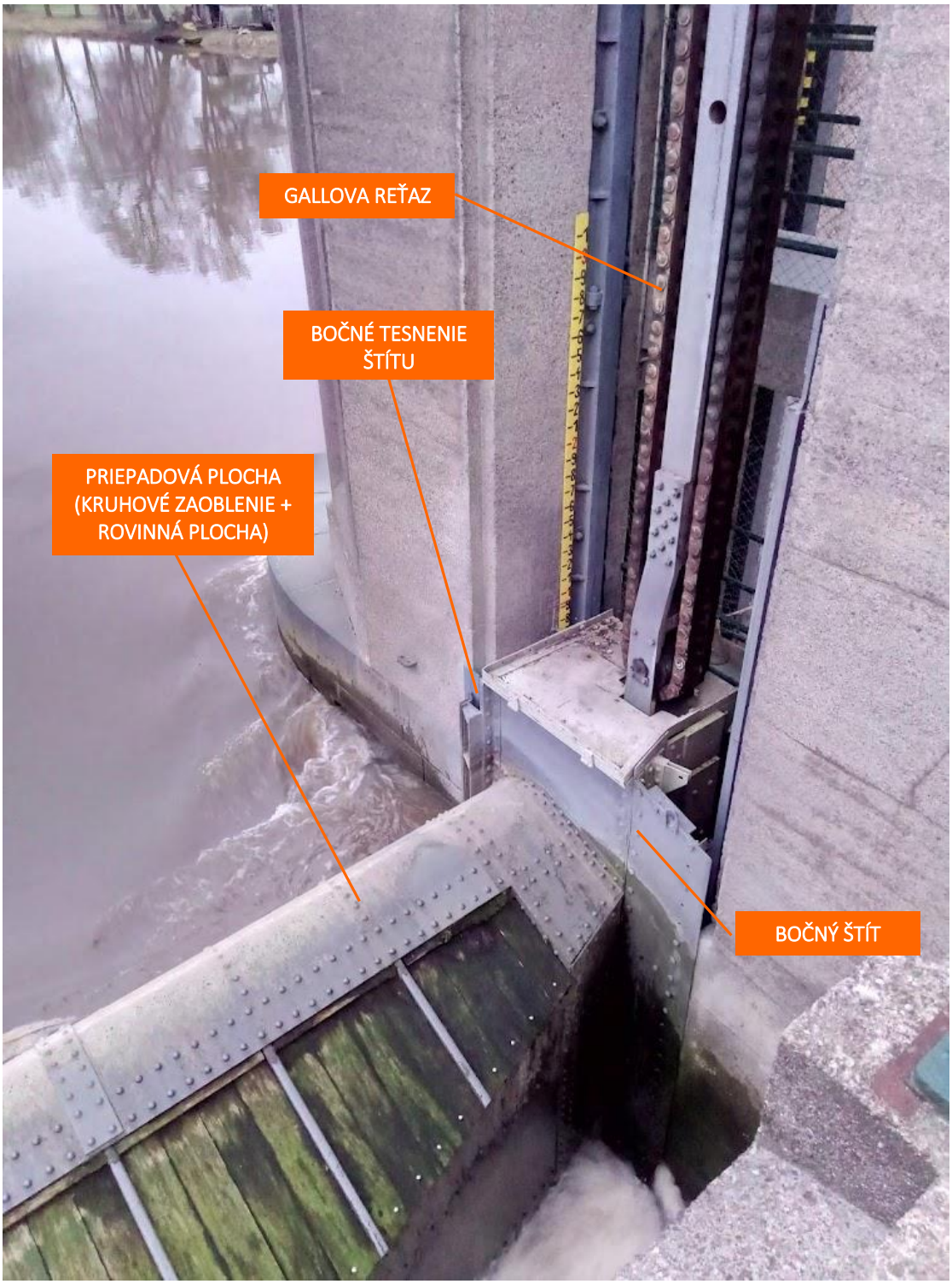


Obr. 8.22 Spustný stavidlový uzáver s dvomi hlavnými pozdĺžnymi nosníkmi, s priepadovou plochou (kruhové zaoblenie a rovinná plocha) a s bočným štítom

Drážka piliera sa chráni bočným štítom (Obr. 8.23) tak, aby voda do nej neprepadala. Na návodnej strane je štít opatrený bočným tesnením, ktoré je pritlačované vodným tlakom na stenu piliera. Bočné štíty by mali chrániť drážku/y v celom rozsahu pohybu spustného stavidla. V takomto prípade, by však museli byť štíty príliš vysoké. To by spôsobovalo problémy najmä pri vyťahovaní stavidla nad hornú hladinu, pretože by bolo nutné zaistiť, aby štíty mohli prejsť vedľa strojovne umiestnenej na pilieri. Výška bočných štítov sa preto volí tak, aby chránila drážky iba počas bežných prietokov. V takomto prípade je však nutné vždy po prechode veľkej vody drážky dôkladne vyčistiť. Takéto riešenie však nie je vhodné v prípade, že tok nesie plávajúce predmety, ktoré by sa mohli v drážke zakliesniť a znemožniť tak pohyb stavidla.

Ovládanie spustného stavidla je väčšinou zabezpečené Gallovou reťazov (Obr. 8.23).

Vodorovné prahové tesnenie je vhodné navrhnúť tak, aby tesnilo iba v uzavretej polohe a aby nebolo pritláčané veľkou silou, ktorá by bránila pohybu stavidla pri jeho spúšťaní.

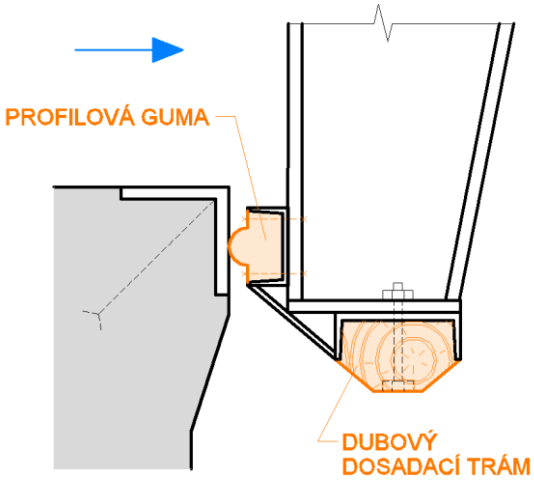


Obr. 8.23 Spustné stavidlo s hradiacou výškou 2,91 m na hati Poděbrady na Labe, ČR (Zdroj: © Josef Janíček)

Vodorovné prahové tesnenie je vhodné navrhnúť tak, aby tesnilo iba v uzavretej polohe a aby nebolo pritláčané veľkou silou, ktorá by bránila pohybu stavidla pri jeho spúšťaní. Tesnenie je

Spustné stavidlo sa neodporúča navrhovať na štrkonosných tokoch, pretože hrozí nebezpečenstvo, že sa bezprostredne za stupňom vytvorí nános splavenín, ktorý bude brániť spusteniu stavidla.

možné pripojiť buď na spodnú stavbu, alebo na hradiacu konštrukciu. V prípade, že je pripojené na spodnej stavbe hate, je však ťažko prístupné. Vzhľadom na to, že tlak vody na stavidlo znižuje účinnosť tesnenia, môže byť tesnenie pritláčané mechanicky napr. pomocou pružín. Ako materiál tesnenia je možné použiť tvarovanú profilovú gumu (Obr. 8.24). Na spodný okraj spustného stavidla sa navrhuje dosadací trám, ktorý musí preniesť celú tiaž stavidla na spodnú stavbu hate.



Obr. 8.24 Príklad vodorovného prahového tesnenia spustného stavidla

Spustné stavidlo sa neodporúča navrhovať na štrkonosných tokoch, pretože hrozí nebezpečenstvo, že sa bezprostredne za stupňom vytvorí nános splavenín, ktorý bude brániť spusteniu stavidla.

Nevýhodou spustných stavidiel, tak ako v prípade zdvižných stavidiel, je **potreba pomerne vysokých pilierov** (Obr. 8.21) potrebných k vytiahnutiu konštrukcie pre potreby opráv a revízií.

8.2.8 Stavidlá s nasadenou klapkou

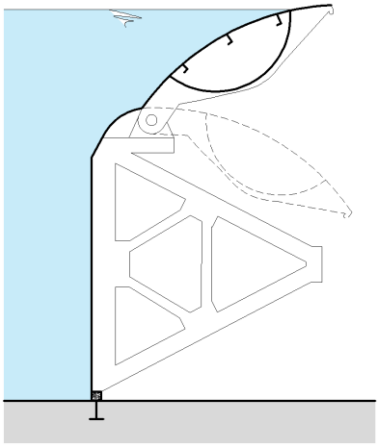
Snaha o čo najväčšiu citlivosť regulácie prietoku cez stavidlo viedla k návrhu stavidla s nasadenou klapkou.

Snaha o čo najväčšiu citlivosť regulácie prietoku cez stavidlo viedla k návrhu *stavidla s nasadenou klapkou.* Konštrukčne ide o zdvižné stavidlo, ktoré má na hornom konci otočne upevnenú klapku umožňujúcu jemnú reguláciu hladiny. Stavidlo a klapka pritom tvoria jednotnú konštrukciu. V súčasnosti sa najčastejšie navrhuje dutá klapka, pričom nosnú konštrukciu stavidla tvoria väčšinou **dva hlavné pozdĺžne nosníky** (Obr. 8.30) alebo **trojpásový nosník** tzv. **trojbok** (Obr. 8.25). S výhodou sa používajú aj skriňové nosné konštrukcie (Obr. *8.27*).

Stavidlá s klapkou sa používajú pre hradiace výšky od cca $4{,}0$ až $8{,}0$ m, pričom hradiaca výška klapky by mala byť približne $1/4$ až $1/3$ celkovej hradiacej výšky uzáveru. Stavidlá s klapkou sa navrhujú skôr pre malé a stredné šírky hať ových polí. Je to dané tým, že pri väčších svetlých šírkach je už treba uvažovať s možným priehybom stavidla, čo môže mať nepriaznivý vplyv na nasadenú klapku, ktorá vyžaduje čo najpriamejšiu os otáčania. Riešením je rozdelenie klapky v strede poľa.

Stavidlom s nasadenou klapkou sa *manipuluje* tak, že najskôr sa sklápa klapka a až po jej úplnom sklopení sa začne zdvíhať stavidlo.

Výhodou stavidiel s klapkou je schopnosť prepúšťania ľadových krýh a plávajúcich predmetov ponad sklopenú klapku a súčasne pri zdvihu celej konštrukcie prepúšťať výtokom pod stavidlom splaveniny nachádzajúce sa na dne koryta pred haťou.

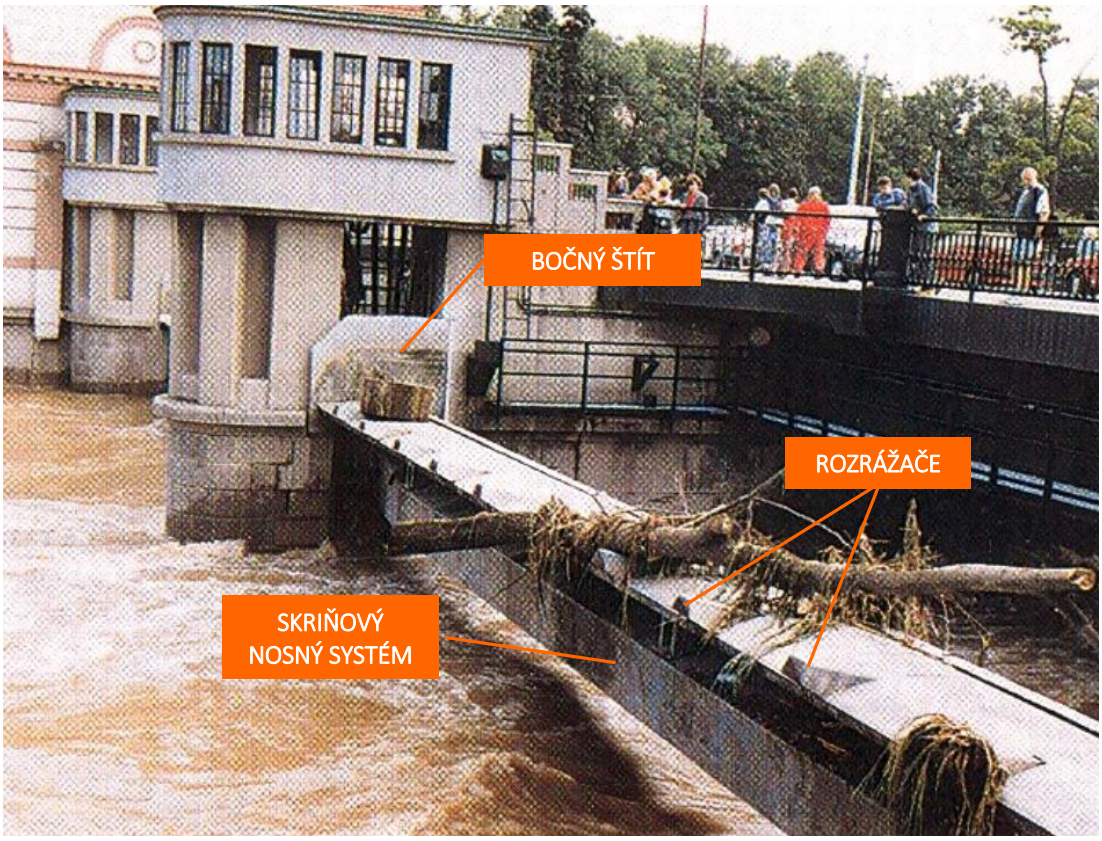


Obr. 8.25 Schéma stavidla (trojpásový nosník) s nasadenou klapkou

Výhodou stavidiel s klapkou je schopnosť prepúšťať ľadové kryhy a plávajúce predmety ponad sklopenú klapku (Obr. 8.26) a súčasne pri zdvihu celej konštrukcie prepúšťať výtokom pod stavidlom splaveniny nachádzajúce sa na dne koryta pred haťou (Obr. 8.27).

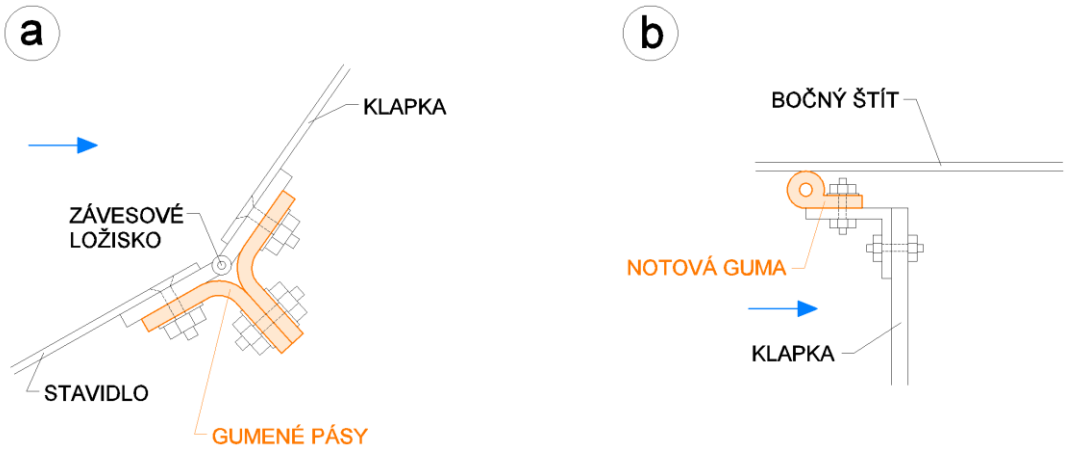
Nasadená klapka sa navrhuje tak, aby pri jej sklápaní nedopadal prepadový lúč hlavnú nosnú konštrukciu stavidla a ani do drážok piliera. Prepad cez klapku môže spôsobovať rozkmitanie konštrukcie, preto sa na jej hornej hrane navrhujú *rozrážače*. Na ochranu drážok sa tak ako v prípade spustných stavidiel navrhujú *bočné štíty*. Na návodnej strane je štít opatrený bočným tesnením, ktoré je pritlačované vodným tlakom na stenu piliera. Na stavidlo je klapka pripojená pomocou čapových (Obr. 8.46a) alebo závesových ložísk (Obr. 8.28a).

Obr. 8.26 Prepúšťanie prietoku cez klapku nasadenú na stavidle hate Hradec Králové (Moravský jez) na rieke Orlice, ČR (Zdroj: mapy.cz ©Alena Říhová)



Obr. 8.27 Prepúšťanie prietoku pod stavidlom s nasadenou dutou klapkou na hati Hradec Králové (Moravský jez) na rieke Orlice, ČR (Zdroj: ČVUT Praha, P. Valenta)

Tesnenie medzi stavidlom a klapkou je zabezpečené vhodne upraveným vodorovným gumovým tesnením (Obr. 8.28a). *Tesnenie medzi klapkou a bočnými štítmi* je možné tesniť napr. profilovou gumou (Obr. 8.28b). *Prahové tesnenie* medzi spodnou stavbou hate a dolnou hranou stavidla je možné riešiť, tak ako v prípade „klasického" zdvižného stavidla (Obr. 8.19).



Obr. 8.28 Príklady možného riešenia: a – vodorovného tesnenia medzi stavidlom a klapkou, b – bočného tesnenia medzi klapkou a bočným štítom

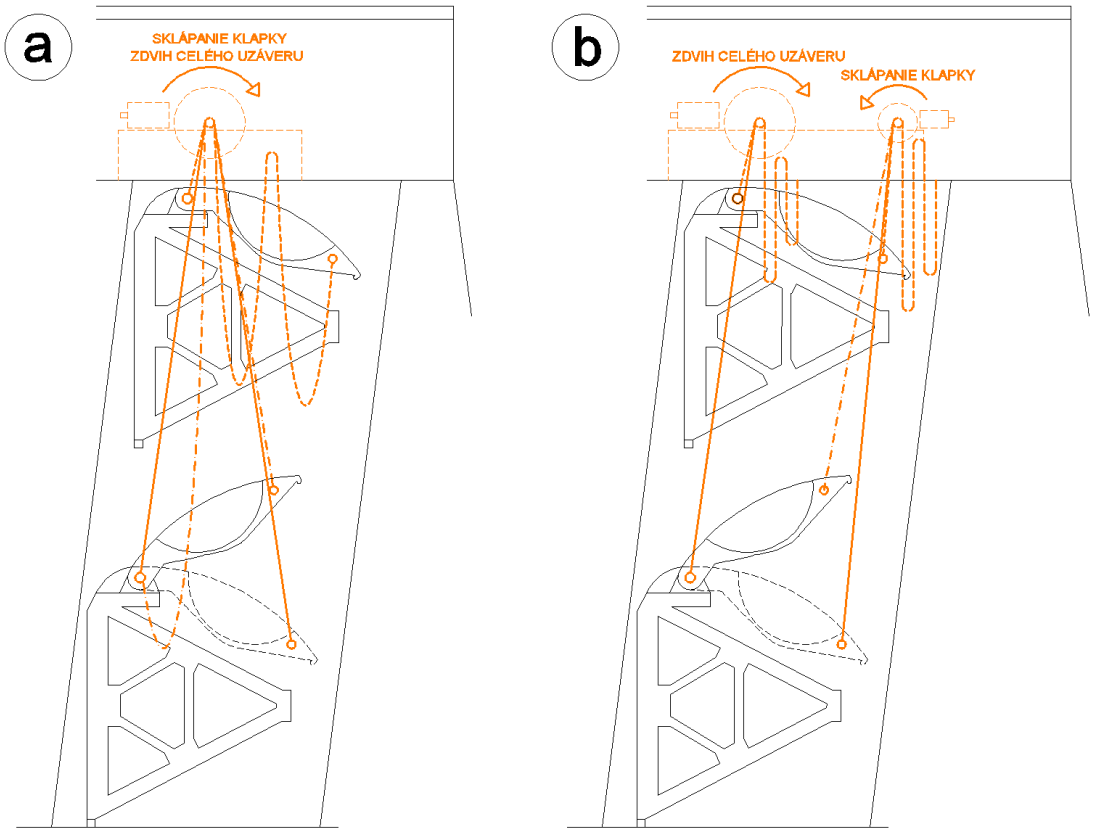
Ovládanie stavidla s nasadenou klapkou môže byť buď samostatné - zvlášť pre stavidlo a zvlášť pre klapku, alebo spoločné.

Ovládanie, resp. *pohybovacie prvky stavidla s klapkou* sú umiestnené v drážke hať ového piliera. Ovládanie môže byť buď **samostatné –** zvlášť pre stavidlo a zvlášť pre klapku, alebo **spoločné**.

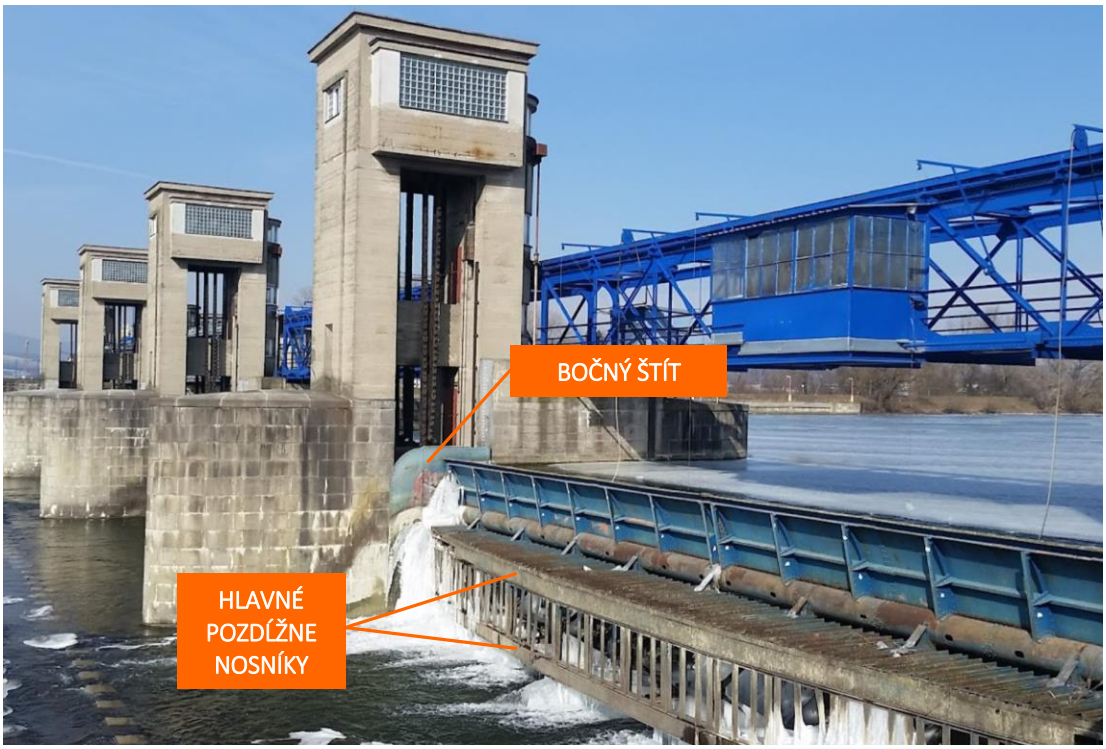
Spoločné ovládanie sa používa obyčajne pri menších hradiacich výškach. Zdvíhacím prvkom je väčšinou Gallova reťaz, ktorej jeden koniec je uchytený na čape klapky alebo na stavidle a ide nahor k pastorku (ozubené koleso) pohybovacieho mechanizmu. Odtiaľ postupuje dole a je uchytená na telese klapky. Dĺžka Gallovej reťaze je práve taká dlhá, aby sa po úplnom sklopení klapky napla a celé hradiace teleso sa začne zdvíhať (Obr. 8.29a).

Samostatné ovládanie sa používa obyčajne pri väčších hradiacich výškach v prípade, že je kombinácia výtoku a priepadu vhodná pre tlmenie kinetickej energie vody vytekajúcej pod stavidlom. Výhodou samostatného ovládania je to, že stavidlo je možné zdvíhať pri akejkoľvek polohe klapky. Takéto riešenie však zvyšuje nároky na strojovňu a tým aj na dĺžku piliera (Obr. 8.29b).

Nevýhodou stavidiel s nasadenou klapkou, je tak, ako v prípade zdvižných a spustných stavidiel, **potreba pomerne vysokých pilierov** potrebných k vytiahnutiu konštrukcie pre potreby opráv a revízií (Obr. 8.30 a Obr. 8.31).



Obr. 8.29 Schéma ovládania stavidla s nasadenou klapkou: a – spoločné ovládanie., b – samostatné ovládanie



Obr. 8.30 Stavidlo s nasadenou rúrovou klapkou na hati Trenčianske Biskupice na rieke Váh (Zdroj: google.com/maps, © Marek Mitura)

Obr. 8.31 Prepúšťanie prietoku cez klapky nasadená na stavidlách hate Trenčianske Biskupice na rieke Váh (Zdroj: mapion.net ©Marián Hubinský)

Konštrukčne sa jedná o dve nezávislé stavidlá, kde horné stavidlo umožňuje jemnú reguláciu hladiny hornej vody a prepúšťanie ľadových krýh a plávajúcich predmetov. Dolné stavidlo umožňuje prepúšťať splaveniny usadené pre haťou.

8.2.9 Dvojité (dvojdielne) stavidlá

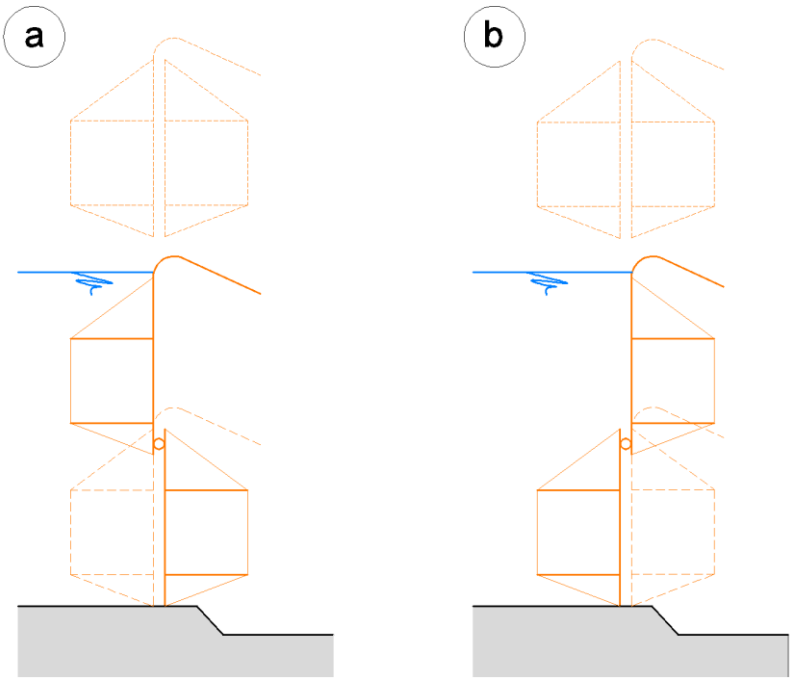
Pre veľké hradiace výšky cca $8{,}0$ m (ale aj viac) a pre veľké hradené šírky od 20 až po 30 m je výhodné navrhnúť stavidlo **delené po výške** – tzv. dvojité stavidlo. Konštrukčne sa jedná o dve nezávislé stavidlá, kde *horné stavidlo* umožňuje jemnú reguláciu hladiny hornej vody a prepúšťanie ľadových krýh a plávajúcich predmetov. *Dolné stavidlo* umožňuje prepúšťať splaveniny usadené pre haťou. Jednou z výhod dvojitých stavidiel oproti „klasickému" zdvižnému stavidlu (Kap. 8.2.6) je úspora energie potrebnej na zdvih, vzhľadom na to, že sa manipuluje zväčša len s horným stavidlom.

Pokiaľ ide o porovnanie dvojitého stavidla so stavidlom s nasadenou klapkou (Kap. 8.2.8), je možné povedať, že:

- vzhľadom na **vodotesnosť konštrukcie** sú stavidlá s nasadenou klapkou výhodnejšie ako dvojité stavidlá,
- **schopnosť prepúšťania plávajúcich predmetov a ľadu** je pri dvojitých stavidlách výrazne lepšia,
- vzhľadom na **robustnosť konštrukcie** sú dvojité stavidlá vhodnejšie do ťažkých zimných režimov,
- **spotreba ocele** (650 až 1000 kg/m^2 pri dvojitom stavidle) je vyššia ako pri stavidle s nasadenou klapkou.

Konštrukčne môže byť dvojité stavidlo usporiadané dvoma spôsobmi:

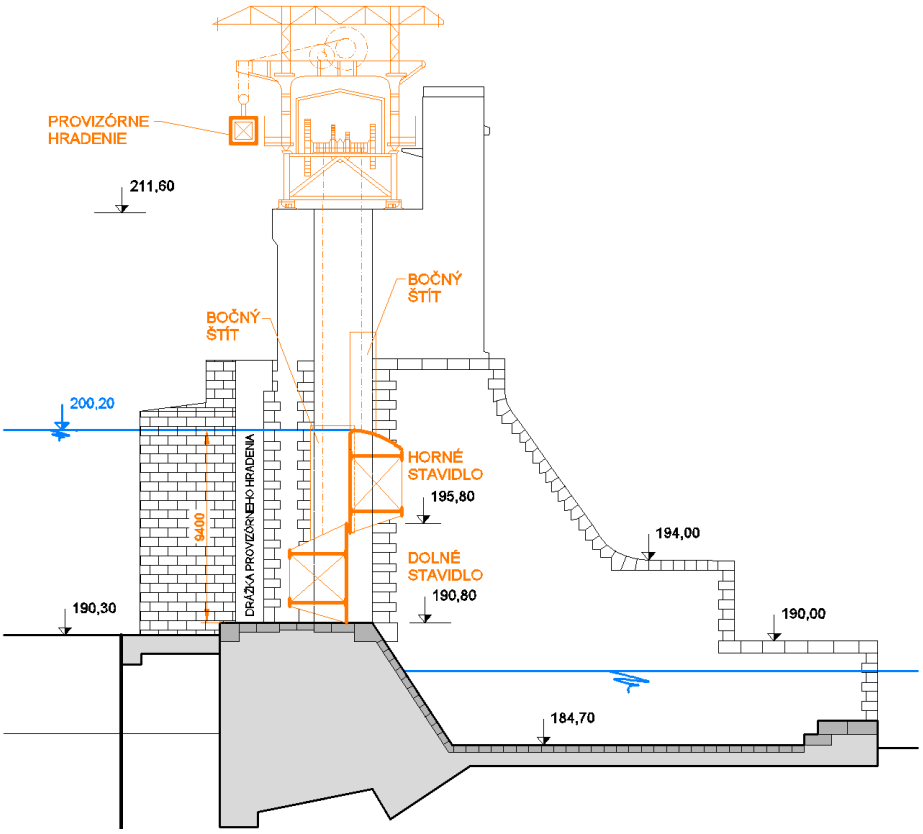
- horné stavidlo sa zasúva pred spodné stavidlo, tzv. *dvojité hákové stavidlo* (Obr. 8.32a),
- horné stavidlo sa zasúva za dolné stavidlo (Obr. 8.32b).



Obr. 8.32 Schémy konštrukčného riešenia dvojitého stavidla

Zasúvanie horného stavidla pred dolné je vzhľadom na prenášanie zaťaženia z horného na dolné stavidlo nepriaznivejšie.

Je zrejmé, že zasúvanie horného stavidla pred dolné **(a)** je vzhľadom na prenášanie zaťaženia z horného na dolné stavidlo nepriaznivejšie. Z tohto dôvodu sa dáva prednosť spúšťania horného stavidla za stavidlo dolné **(b)** – príklad na Obr. 8.33. V prípade **(a)** je nutné počítať aj s dlhšou priepadovou plochou na hornom okraji horného stavidla, ktorá zabezpečí, aby voda nedopadala na nosný systém dolného stavidla.



Obr. 8.33 Dvojité stavidlo s hradiacou výškou 9,4 m na hati Vodného diela Vrané nad Vltavou, ČR

Nosný systém horného aj dolného stavidla tvoria dva hlavné pozdĺžne nosníky. V súčasnosti sa však uplatňujú najmä nosné systémy z dutých uzavretých prierezov, pričom horný diel v závislosti od konštrukčného usporiadania reguluje cca 25 až 45 % celkovej hradenej výšky. A práve „veľká“ spustnosť horného stavidla (na rozdiel od stavidla s nasadenou klapkou) umožňuje preplavenie aj „veľkých“ ľadových krýh ešte počas zimného obdobia.

S dvojitým stavidlom sa *manipuluje* tak, že sa najprv spúšťa horné stavidlo a potom sa súčasne zdvíhajú obe stavidlá. Súčasným spúšťaním horného a zdvíhaním dolného stavidla je možné účinne tlmiť pohybovú energiu prepadového a výtokového lúča (vzájomné zrážanie lúčov).

Na ochranu drážok haťových pilierov pred prepadajúcou vodou sa navrhujú na dolnom stavidle vysoké *bočné štíty* dosahujúce až nad hladinu hornej vody. Na bočné štíty je dotesnené bočné tesnenie horného stavidla (Obr. 8.33).

Zvýšenú pozornosť treba venovať *vodorovnému tesneniu medzi oboma stavidlami*. Tesnenie je možné realizovať pomocou gumenej hadice, ktorá sa po dosiahnutí požadovanej vzájomnej polohy stavidiel vždy natlakuje (zväčší svoj objem) a medzeru medzi stavidlami dotesní.

Ovládanie dvojitého stavidla je nezávislé pre horné a dolné stavidlo.

Ovládanie dvojitého stavidla je nezávislé pre horné a dolné stavidlo. Stavidlá sú obojstranne zavesené väčšinou na Gallovej reťazi a každé stavidlo má svoj vlastný pohybovací mechanizmus. Stavidlá sa pohybujú na kolesových podvozkoch na vlastných nosných koľajniciach a je ich možné nezávisle zasúvať jedno za druhé.

Vzhľadom na spoločné umiestnenie oboch stavidiel a ich pohybovacích a ovládacích prvkov v drážke, bývajú tieto širšie aj hlbšie ako u predchádzajúcich typoch stavidiel. Preto vychádzajú piliere dvojitých stavidiel obzvlášť mohutné (Obr. 8.34).

Nevýhodou dvojitých stavidiel je aj **potreba pomerne vysokých pilierov** potrebných na vytiahnutie konštrukcie pre potreby opráv a revízií.

Obr. 8.34 Prepúšťanie prietoku ponad horné stavidlo dvojitého stavidla s hradiacou výškou 9,4 m krajným poľom hate na Vodnom diele Vrané nad Vltavou, ČR (Zdroj: cez.cz)

Obr. 8.35 Prepúšťanie prietoku ponad horné stavidlo dvojitého stavidla s hradiacou výškou 5,25 m na hati Vodného diela Smiřice na rieke Labe, ČR (Zdroj: czechhydro.com)

Kontrolné otázky

Na základe akých kritérií delíme pohyblivé uzávery?

Na základe akých kritérií sa volí vhodný typ uzáveru?

Na základe akých kritérií delíme stavidlové uzávery?

Aké sú základné prvky nosného systému stavidlových uzáverov a akým spôsobom je prenášané zaťaženie?

Aké sú základné typy nosných systémov stavidlových uzáverov?

Aký je princíp konštrukcie a ovládania tabuľových (doskových) stavidiel?

Aké sú základné typy pojazdných systémov stavidlových uzáverov?

Ako sa ovládajú stavidlové uzávery?

Aký je vplyv uchytenia stavidla na výšku haťového piliera?

Aké je princíp manipulácie so zdvižným stavidlom?

Aké sú výhody a nevýhody zdvižných stavidiel?

Ako sa tesnia zdvižné stavidlá?

Ako sa delia spustné stavidlá?

Aké sú výhody a nevýhody spustných stavidiel?

Aký je princíp manipulácie so spustným stavidlom?

Ako sa tesnia spustné stavidlá?

Aké sú výhody a nevýhody stavidla s nasadenou klapkou?

Aký je princíp manipulácie stavidla s nasadenou klapkou?

Ako sa tesnia stavidlá s nasadenou klapkou?

Aké sú výhody a nevýhody dvojitého stavidla v porovnaní so stavidlom s nasadenou klapkou?

Ako sa delia dvojité stavidlá?

Aký je princíp manipulácie s dvojitým stavidlom?

Ako sa medzi sebou tesnia horné a dolné stavidlo dvojitého stavidla?

8.3 Klapkové uzávery

Klapkové uzávery nie je vhodné navrhovať na tokoch s trvalým a značným chodom splavenín.

Klapkové uzávery nepotrebujú masívne haťové piliere.

Klapkové uzávery sú tvorené celistvou hradiacou konštrukciou, ktorej os otáčania sa nachádza na spodnej stavbe hate. Z statického, hydraulického ale aj estetického dôvodu (nízke piliere, voda prepadajúca ponad konštrukciu) patria v súčasnosti medzi najčastejšie navrhované hradiace uzávery.

Klapkový uzáver umožňuje jemnú reguláciu hladiny hornej vody a prepúšťanie ľadových krýh a plávajúcich predmetov prepadom cez horný okraj klapky. Nevýhodou je, že prevádzanie splavenín sa dá realizovať iba *úplným vyhradením (spustením) klapky*, čo má za následok stratu relatívne veľkého objemu vody a zníženie hladiny v zdrži nad haťou. V neposlednom rade dochádza pri takejto manipulácii k výraznému zaťažovaniu podhatia. Okrem iného, na tokoch s trvalým a značným chodom splavenín, ktoré sú unášané cez sklopenú klapku, môžu zaniesť priestor ako pod klapkou, tak priestor tesne pred klapkou, čo môže následne znemožniť sklopenie, resp. vztýčenie klapky. Aby ich bolo možné použiť aj v takomto prípade, je vhodné navrhnúť v spodnej stavbe uzatvárateľné preplachovacie kanály vyústené pod klapky na vypláchnutie usadených splavenín tzv. preplachovacie galérie [3].

V prípade menších svetlých šírok haťových polí je možné navrhnúť *štrkový priepust* (Obr. 8.48). Zo stavebného hľadiska ide o otvor v haťovom pilieri s dnom na úrovni dna zdrže nad haťou, ktoré postupne klesá na úroveň dna koryta pod haťou. Ako hradiaci uzáver štrkového priepustu sa obyčajne používa *tabuľové oceľové stavidlo* (Kap. 8.2.2). Preplachovací efekt sa dosahuje vyhradením stavidla, čo má za následok zvýšenie rýchlostí prúdenia vody v zdrži nad haťou. V prípade, že tieto rýchlosti prekročia unášacie rýchlosti materiálu usadeného v zdrži (Tab. 5.2 a Tab. 5.3) – *dochádza k jeho prepláchnutiu pod haťou*. Štrkový priepust by mal byť situovaný tak, aby bol preplachovací účinok čo najúčinnejší, pretože často dochádza iba k prepláchnutiu splavenín, ktoré sú usadené v bezprostrednej blízkosti štrkového priepustu. Z tohto dôvodu je štrkový priepust efektívny pri odstraňovaní usadených splavením spred haťového uzáveru, iba v prípade menších hradených šírok.

Klapkové uzávery sú náchylné na rozkmitanie, preto sa na ich hornej hrane navrhujú *rozrážače* prepadajúceho lúča vody (Obr. 8.37, Obr. 8.38), ktoré umožnia prístup vzduchu pod prepadový lúč a eliminujú tak vznik pulzácie lúča. Prístup vzduchu pod prepadový lúč je možné zabezpečiť aj *zavzdušňovacím potrubím* vyústeným do priestoru pod prepadajúcim lúčom (Obr. 8.44, Obr. 8.57).

Podľa tvaru priečneho rezu, resp. podľa *typu nosného systému hradiacej* konštrukcie je možné klapkové uzávery rozdeliť na:

- doskové klapky (Kap. 8.3.1), rúrové klapky (Kap. 8.3.2) a duté klapky (Kap. 8.3.3).

Podľa spôsobu ovládanie je možné rozdeliť klapky na:

- zavesené (ovládací, resp. pohybovací prvok je namáhaný ťahom – Obr. 8.37),
- podopreté (ovládací, resp. pohybovací prvok je namáhaný tlakom – Obr. 8.39, Obr. 8.58)

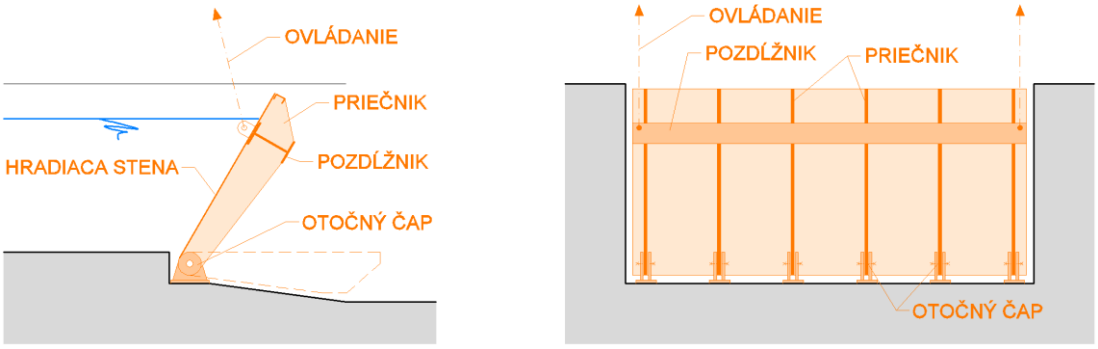
a ovládané jednostranne a obojstranne.

Vzhľadom na to, že klapkové uzávery nepotrebujú v pilieroch drážky a podstatná časť hydrostatického tlaku vody sa prenáša iba do spodnej stavby hate, je ich výhodou to, že nepotrebujú masívne piliere.

8.3.1 Doskové klapky

V súčasnosti sa *doskové klapky* obyčajne navrhujú pre menšie hradiace výšky do 2,0 m. *Nosný systém doskových klapiek* tvorí hradiaca stena z oceľového plechu vystužená priečnikmi, z ktorých je tlak vody prenášaný na hlavný pozdĺžnik a do otočných čapov (Obr. 8.36, Obr. *8.39*). Z čapov je tlak prenášaný do spodnej stavby hate. V prípade nutnosti je možné hradiaci plech vystužiť aj menšími pozdĺžnikmi. Na konci/och hlavného pozdĺžnika je uchytené ovládanie klapky, cez ktoré sa tlak vody (v prípade tzv. zavesenej klapky) prenáša do pilierov (Obr. 8.36).

Ovládanie doskovej klapky je najčastejšie obojstranné – **mechanické** (napr. pomocou cievovej tyče alebo Gallovej reťaze), alebo **hydraulické** pomocou hydraulických piestov (Kap. 8.3.4). Vzhľadom na to, že nosný systém doskovej klapky nedokáže prenášať krútiaci moment, je jednostranné ovládanie možné realizovať iba v prípade malých svetlých šírok haťových polí (Obr. 8.37).

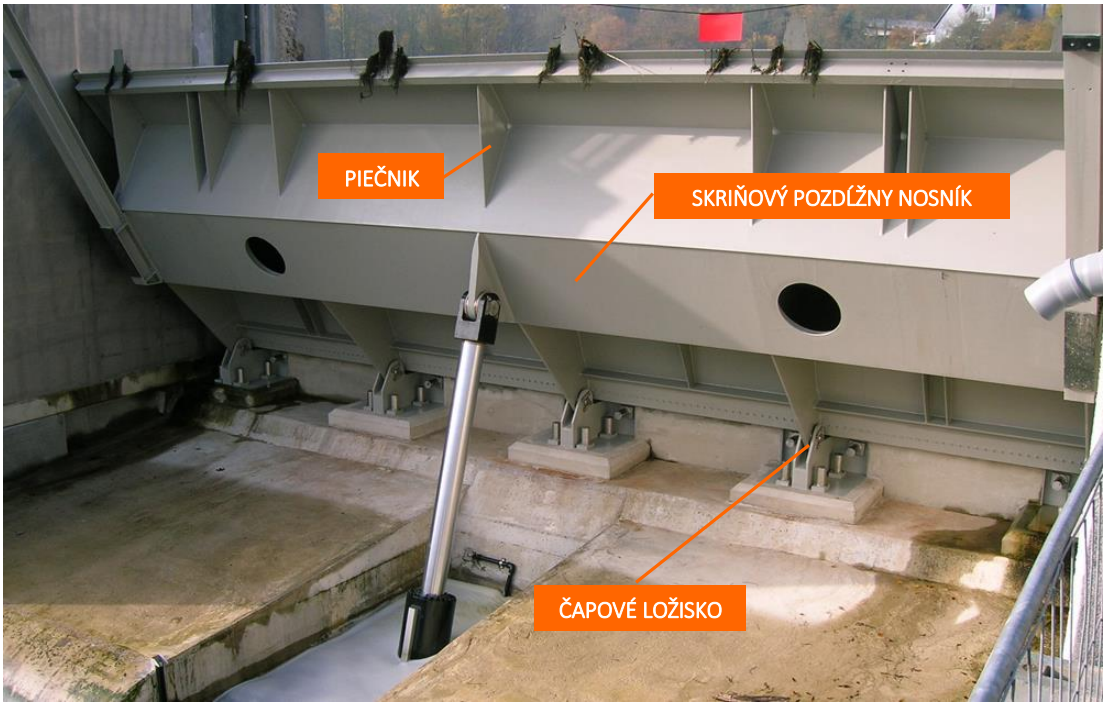


Obr. 8.36 Základná schéma konštrukčného riešenia zavesenej doskovej klapky

Obr. 8.37 Jednostranne ovládaná zavesená dosková klapka s šírkou 5 m a hradiacou výškou 2 m na hati Jenbach, Rakúsko (Zdroj: wild-metal.com)

Obr. 8.38 Prepad vody ponad jednostranne zavesenú doskovú klapku s šírkou 5 m a hradiacou výškou 2 m na hati Jenbach, Rakúsko (Zdroj: wild-metal.com)

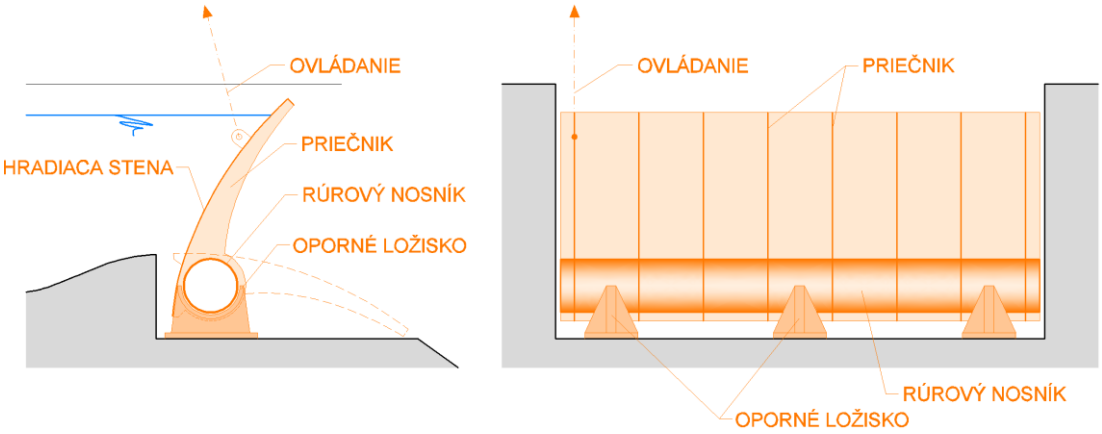
V prípade, že dosková klapka nie je príliš široká, je ju možné podoprieť aj v jednom mieste, obyčajne v strede. Na zvýšenie tuhosti konštrukcie klapky je možné nahradiť hlavný pozdĺžnik napr. „tuhším“ skriňovým pozdĺžnym nosníkom (Obr. 8.39).



Obr. 8.39 V strede podopretá dosková klapka hate Beyenburger na rieke Wupper, Nemecko (Zdroj: zs-zylinder.de)

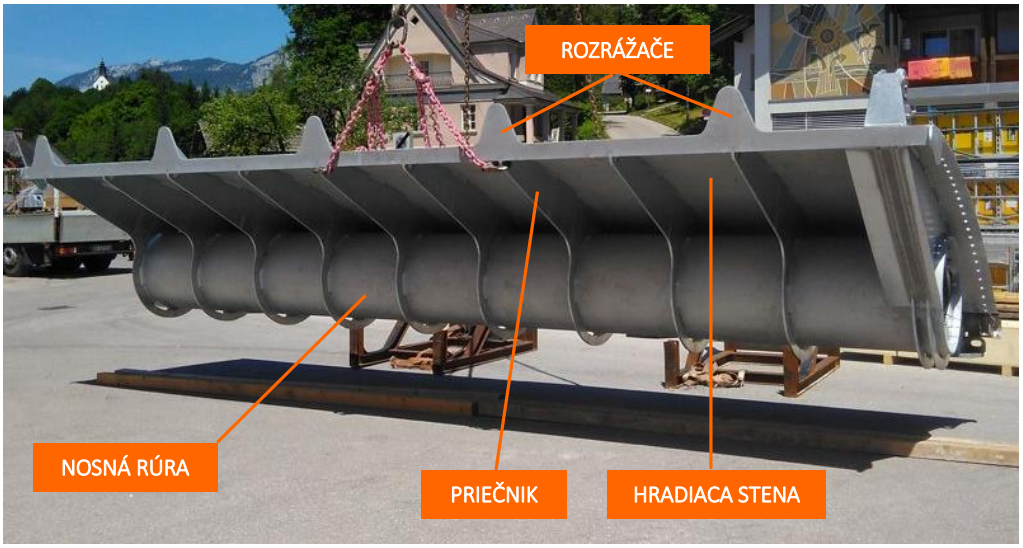
8.3.2 Rúrové klapky

Nosný systém rúrových klapiek tvorí na krútenie aj ohyb tuhá otočne uložená rúra. K tejto rúre je pripojený vhodne hydraulicky zaoblený hradiaci plech podopretý priečnikmi, ktoré sú na rúre nasadené ako konzoly (Obr. 8.40 a Obr. 8.41). Tlak vody pôsobiaci na hradiacu stenu je prenášaný na priečniky a následne na rúru, ktorá je uložená na oporných ložiskách ukotvených do spodnej stavby hate.



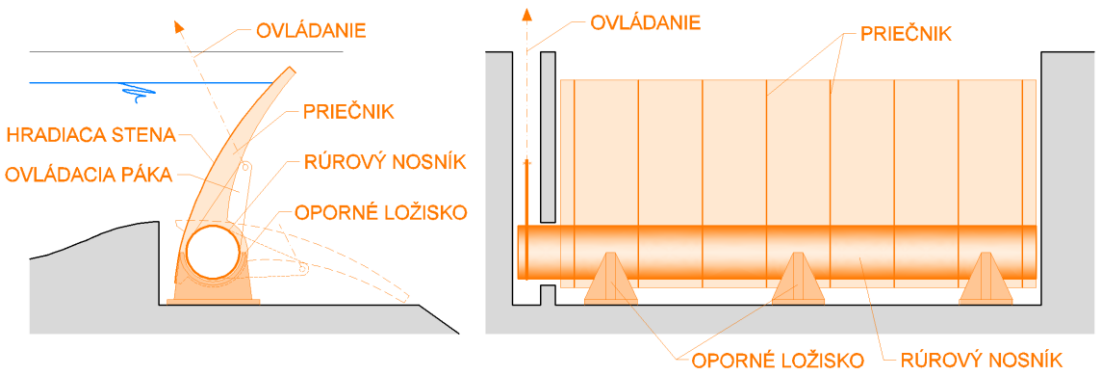
Obr. 8.40 Základná schéma konštrukčnej schémy zavesenej rúrovej klapky

Po úplnom sklopení musí hradiaca stena spolu s korunou priepadu spodnej stavby hate vytvoriť čo „najplynulejší“ horný obrys spodnej stavby (t. j. horný okraj rúry by mal byť na úrovni koruny priepadu). Z týchto dôvodov nie je možné využiť celú výšku klapky ako výšku hradiacu vodný stĺpec nad haťou. Rúrové klapky sa aj z uvedeného dôvodu navrhujú (napriek ich relatívne veľkej tuhosti) pre hradiace výšky do 2,0 m. Môžu však hradiť podstatne širšie haťové polia ako doskové klapky.



Obr. 8.41 Rúrová klapka s šírkou 7,2 m a výškou 2,1 m (hradiaca výška 1,3 m)
(Zdroj: wild-metal.com)

Ovládanie rúrovej klapky, vzhľadom na jej vyššiu tuhosť, môže byť jednostranné – mechanické alebo hydraulické (Kap. 8.3.4). Pri väčších hradených šírkach je možné rúrovú klapku, vzhľadom na jej vyššiu tuhosť, v strede rozdeliť na dve časti, z nich každá má samostatné jednostranného ovládanie. Ďalšou výhodou je to, že jej pohybovací prvok je možné umiestniť do piliera, kde nie je vystavený nárazom prepadového lúča (Obr. 8.42).



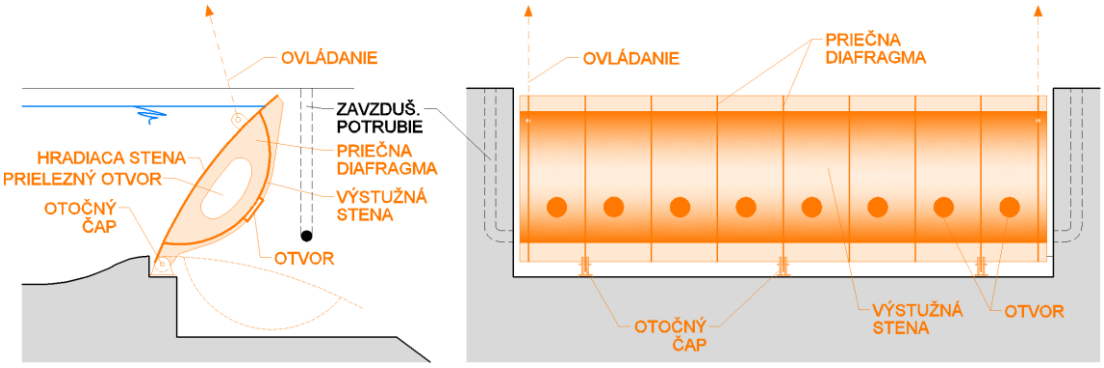
Obr. 8.42 Jednostranne ovládaná rúrová klapka s ovládaním v pilieri hate

Nevýhodou rúrových klapiek je, že ich použitie je obmedzené na malé a stredné hradené šírky, pretože pri veľkých hradených šírkach by musela mať nosná rúra veľký priemer a výrazne hrubú stenu, aby bola schopná preniesť krútiaci moment. Pri rúrových klapkách sa naráža aj na problémy s otočným uložením rúry na spodnej stavbe a s realizáciou spoľahlivého vodorovného tesnenia medzi spodnou stavbou hate a uzáverom (Obr. 8.59).

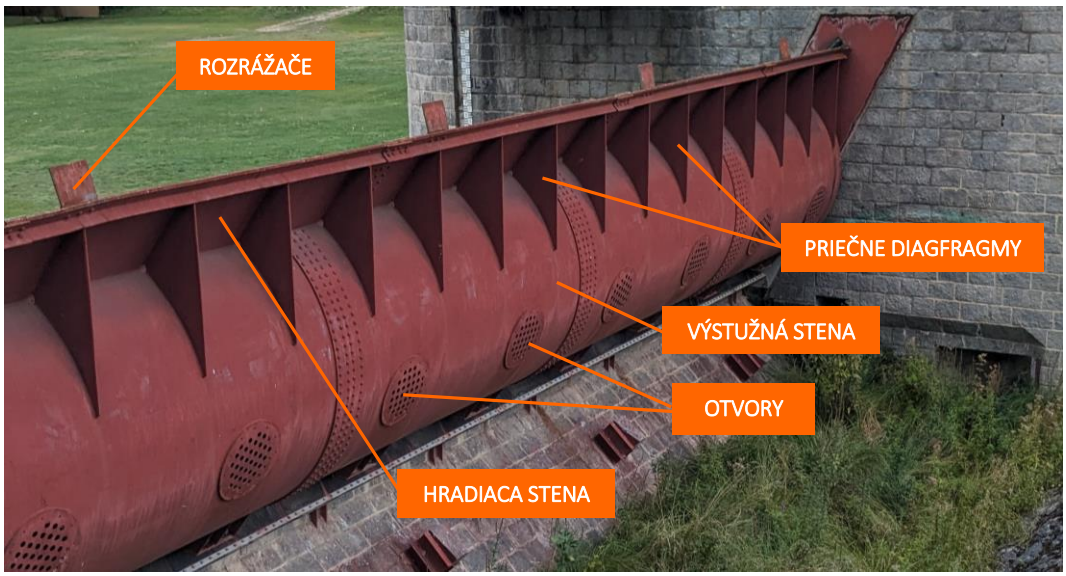
Obr. 8.43 Prepad vody ponad jednostranne zavesenú rúrovú klapku s hradiacou šírkou 7,2 m a hradiacou výškou 1,3 m na hati Windischgarsten, Rakúsko (Zdroj: wild-metal.com)

8.3.3 Duté klapky

Snaha o zjednodušenie nosnej konštrukcie rúrovej klapky a aj vodorovného tesnenia viedli k premiestneniu rúry z osi otáčania do hornej časti klapky. Takto vznikla konštrukcia tvorená valcovite zaobleným hradiacim plechom na návodnej strane a valcovite zaoblenou výstužnou stenou na vzdušnej strane (Obr. 8.44). Obe steny navzájom vytvárajú uzavreté duté teleso šošovkovitého tvaru, ktorého vysoká tuhosť umožňuje jej použitie pre väčšie hradené šírky (20,0 až 25,0 m) a pre väčšie hradiace výšky do cca 4,0 m (výnimočne až 6,0 m). Priečne je klapka vystužená zvislými diafragmami, v ktorých sa nachádzajú prielezné otvory. Vo výstužnej stene sa nachádzajú *otvory* na napustenie a vypustenie vody (Obr. 8.45). Bez nich by sa klapky pri sklopenej polohe mohla chovať ako plavák. K spodnej stavbe je dutá klapka pripojená *závesnými* alebo, a to vo väčšine prípadov, *čapovými ložiskami* (Obr. 8.46). Tlak vody je prenášaný z hradiaceho plechu a výstužnú stenu na diafragmy, ktoré následne cez ložiská prenášajú toto zaťaženie do spodnej stavby hate. Hradiaci plech môže byť pri vyšších hradiacich výškach vystužený aj pozdĺžnikmi, ktoré sú rovnako ako výstužná stena umiestnené symetricky k osi hradiacej steny. Na hornom obryse klapky sú umiestnené *rozrážače* (Obr. 8.45).

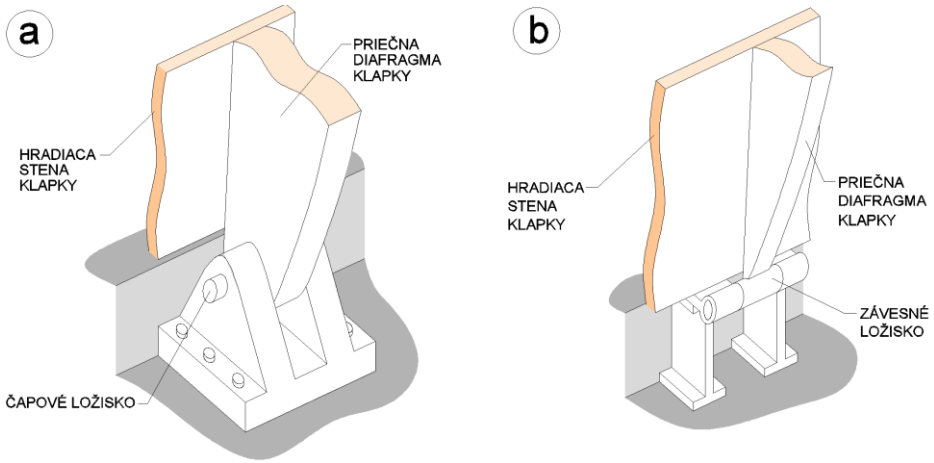


Obr. 8.44 Základná schéma konštrukčného riešenia dutej klapky



Obr. 8.45 Dutá klapka na hati v Piešťanoch na rieke Váh (Kúpeľný ostrov) (Zdroj: archív autora)

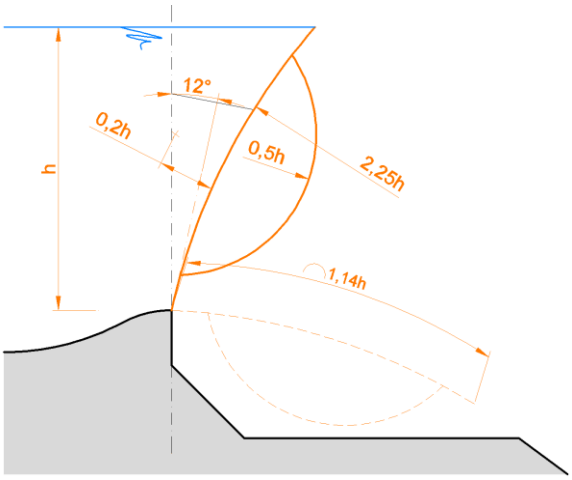
Pri väčších hradených šírkach je možné dutú klapku rozdeliť na dve časti, z nich každá má samostatné jednostranného ovládanie.



Obr. 8.46 Uchytenie dutej klapky na spodnú stavbu hate pomocou: a – čapového, b – závesného ložiska

Tvar priečneho rezu dutých klapiek sa navrhuje tak, aby priebeh hydraulického tlaku bol po celej dĺžke hradiacej steny čo najplynulejší s vylúčením podtlakov. Hradiaca stena klapky v sklopenej polohe by mala pri návrhovom prietoku (Kap. 4.1), vytvoriť mierne tlakovú priepadovú plochu (Kap. 4.3.1.3). Pri prietokoch väčších ako návrhový prietok sa plocha stáva podtlakovou a zväčšuje sa jej kapacita, ale zároveň sa zvyšuje aj riziko rozkmitania klapky vplyvom vzniknutých podtlakov a pulzácie prepadajúce lúča vody. Pri prietokoch menších ako návrhový prietok sa plocha stáva tlakovou s menšou kapacitou, ale súčasne dochádza k zastabilizovaniu prepadového lúča. Na Obr. 8.47 je tvar priečneho rezu dutej klapky odporúčaný na základe hydraulického modelového výskum realizovaného na Stavebnej fakulte ČVUT v Prahe. Pre klapky s malou hradiacou výškou do cca 1,5 m je možné valcovú plochu hradiacej steny nahradiť plochou rovinnou.

Ovládanie dutej klapky, vzhľadom na jej vyššiu tuhosť, môže byť aj jednostranné, a to *mechanické* alebo *hydraulické* (Kap. 8.3.4). Pri väčších hradených šírkach je možné dutú klapku rozdeliť na dve časti, z nich každá má samostatné jednostranného ovládanie. Voľné konce klapky sú opatrené tesniacimi štítmi.

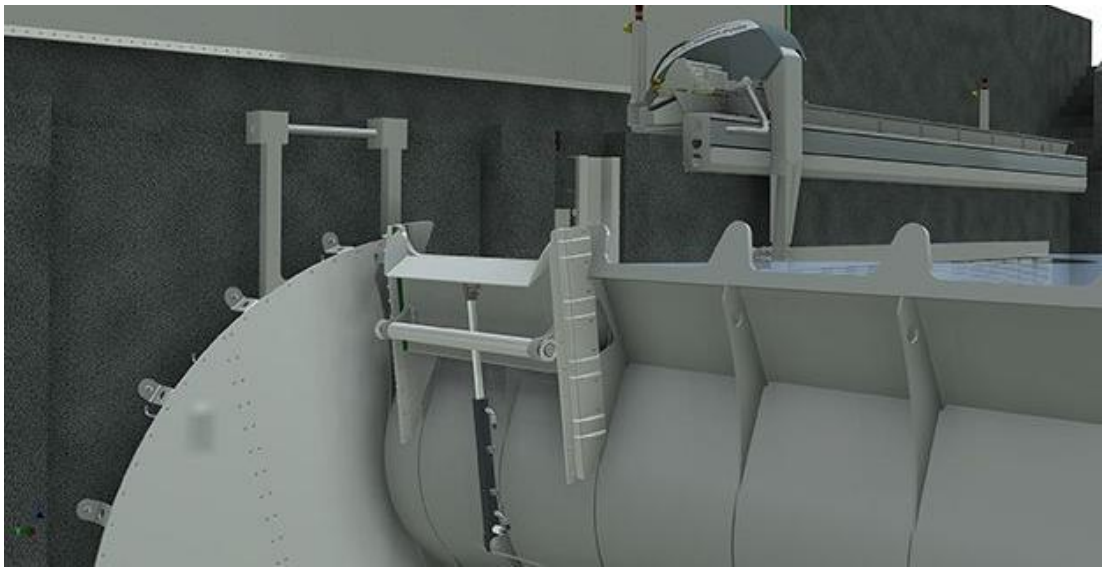


Obr. 8.47 Odporúčaný tvar priečneho rezu dutej klapky podľa výskumu na ČVUT v Prahe

Aby prichádzalo pri prevádzaní plávajúcich nečistôt cez klapku k čo najmenším stratám vody, majú moderné duté klapky na hradiacej stene integrované malé spustné stavidlo, ktoré umožňuje preplaviť plávajúce nečistoty (obyčajne zachytené na odbernom objekte) bez sklopenia celej klapky.

Obr. 8.48 Prepad vody ponad jednostranne zavesenú dutú klapku s hradiacou šírkou 6 m a hradiacou výškou 1,4 m na hati Gsteig, Švajčiarsko (Zdroj: wild-metal.com)

Ako bolo uvedené, prevedenie plávajúcich nečistôt cez profil hate sa pri klapkových uzáveroch realizuje čiastočným sklopením klapky. Aby prichádzalo pri prevádzaní plávajúcich nečistôt k čo najmenším stratám vody, majú moderné duté klapky na hradiacej stene integrované *malé spustné stavidlo*, ktoré umožňuje preplaviť plávajúce nečistoty (obyčajne zachytené na odbernom objekte) bez sklopenia celej klapky (Obr. 8.49, Obr. 8.50).



Obr. 8.49 Malé spustné stavidlo na hornom okraji dutej klapky (Zdroj: wild-metal.com)

Obr. 8.50 Prepúšťanie plavenín zachytených na odbernom objekte cez pomocné spustné stavidlo jednostranne zavesenej dutej klapky hate Liestal, Švajčiarsko (Zdroj: wild-metal.com)

8.3.4 Ovládanie pohybu klapkových uzáverov

Ovládanie všetkých uvedených typov klapkových uzáverov môže byť vo všeobecnosti jednostranné alebo obojstranné, resp. stredové.

Pohybovacie prvky klapkových uzáverov sú buď **mechanické** (napr. cievová tyč – Obr. 8.53) alebo **hydraulické** (hydraulický piest – Obr. 8.37, Obr. 8.43, Obr. 8.56). Cievová tyč, hlavne pri vyhradených vysokých klapkách, je náchylná na rozkmitanie voľného konca tyče a súčasne zhoršuje vzhľad vodného diela (Obr. 8.51, Obr. 8.52).

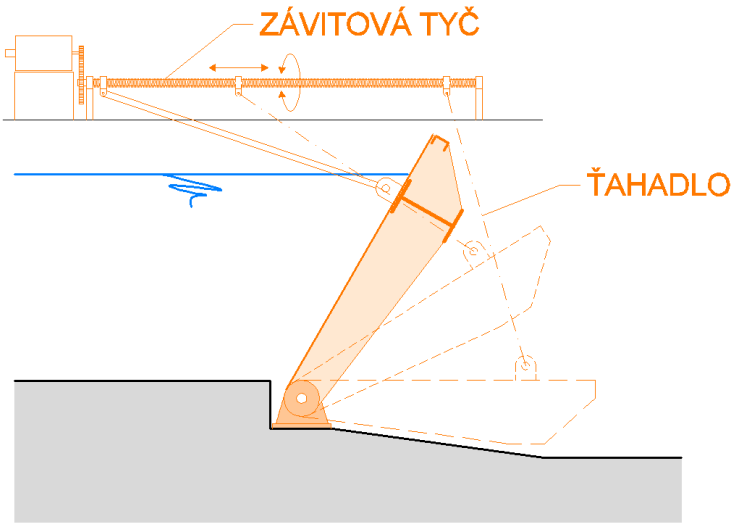
Obr. 8.51 Hať Vodňany na rieke Blanice, ČR (Zdroj: jcted.cz)

Obr. 8.52 Hať Piešťany

Po náraze plávajúceho predmetu do cievovej tyče môže prísť k jej deformácii, čo má za následok znefunkčnenie celého ovládacieho mechanizmu. Preto sa cievová tyč môže nahradiť kĺbovou tyčou alebo Gallovou reťazou (Obr. 8.54), prípadne je ju možné nahradiť *pohybovacím ťahadlom,* kĺbovo spojeným so závitovým pohybovacím mechanizmom (Obr. *8.55*).

Obr. 8.53 Ovládanie dutej klapky na hati Piešťany na Váhu, (Zdroj: archív autora)

Obr. 8.54 Trojložná Gallova reťaz (Zdroj: mr-retaze.sk)



Obr. 8.55 Ovládanie doskovej klapky pomocou ťahadla a vretenového mechanizmu

Možnosti ako chrániť pohybovací prvok pred účinkom prepadajúceho lúča a plávajúcich predmetov (najmä ľadových krýh), sú nasledovné:

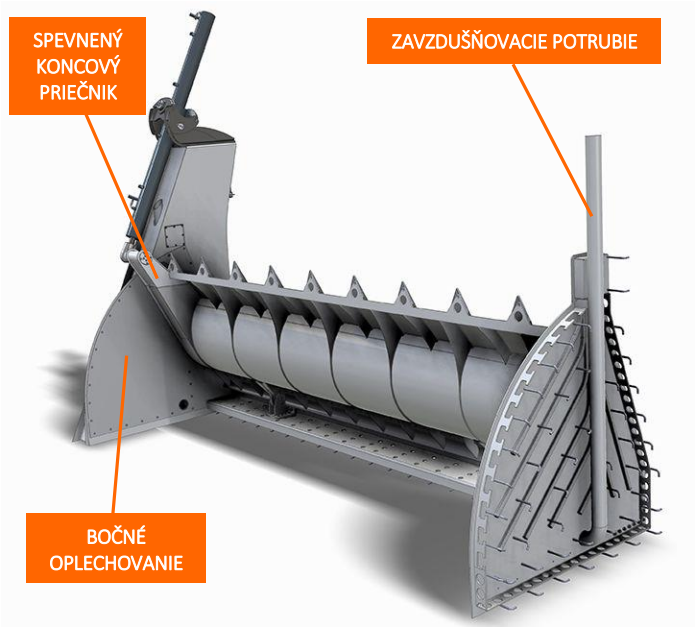
- predĺženie klapky a jej zasunutie spolu s ovládaním do *ústupku,* resp. drážky v pilieri (Obr. *8.56*). V skutočnosti sa prepadový lúč pri voľnom páde prirodzene rozširuje aj do ústupku piliera, takže môže pohybovací prvok poškodiť aj pri tomto spôsobe riešenia;

- riešiť klapku ako *podopretú* (Obr. 8.39, Obr. 8.58). Nevýhodou tohto riešenia je potreba hlbšieho zakladanie spodnej stavby hate a zanášanie splaveninami priestoru servovalcov. Problémom je aj obtiažna kontrola servovalcov a prípadných únikov oleja;
- ovládanie klapky umiestniť v haťovom pilieri (Obr. 8.42). Nevýhodou tohto riešenia je potreba širších a konštrukčne sofistikovanejších haťových pilierov.

Obr. 8.56 Zavesená klapka zasunutá spolu s ovládaním do ústupku v pilieri (Zrdroj: zs-zylinder.de)

Čím je závesný bod klapky bližšie k osi otáčania klapky, tým je na úplné vyhradenie/zahradenie klapky potrebná menšia dĺžka pohybovacieho prvku. Na druhej strane sú však v takomto prípade potrebné väčšie sily na manipuláciu s klapkou.

Pri *jednostranne ovládaných klapkách* je pohybovací prvok kĺbovo pripojený na *spevnenom krajnom koncovom priečniku* (Obr. 8.57).

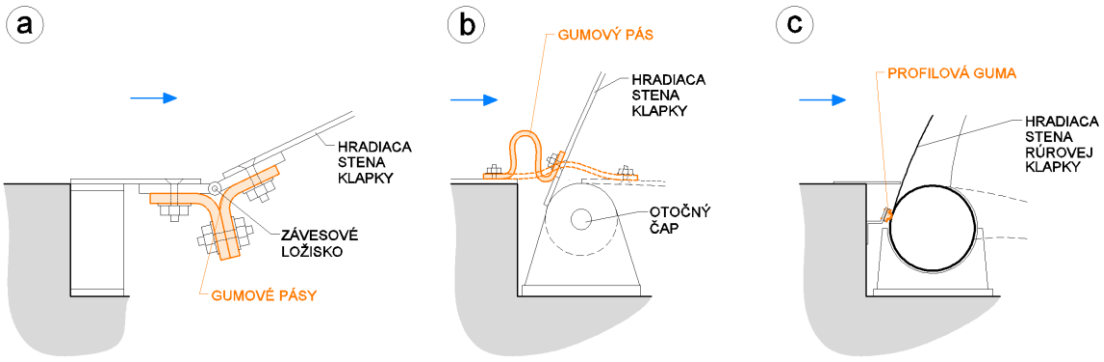


Obr. 8.57 Jednostranné hydraulické ovládanie zavesenej dutej klapky (Zdroj: wild-metal.com)

Obr. 8.58 Obojstranne podopretá klapka s hradiacou výškou 3 m a šírkou 22,5 m ovládaná hydraulickým piestom – hať České Vrbné na rieke Vltava, ČR, (Zdroj: ČVUT Praha, P. Valenta)

8.3.5 Tesnenie klapkových uzáverov

Vodorovné tesnenie medzi spodnou stavbou hate a dolným okrajom hradiacej steny klapky je možné riešiť v prípade doskových a dutých klapiek pásovým gumovým tesnením prichyteným na spodnú stavbu hate a na dolný okraj hradiacej steny klapkového uzáveru, a to zo strany *vzdušnej* (Obr. 8.59a) alebo z *návodnej* (Obr. 8.59b). Takéto tesnenie je veľmi spoľahlivé a netesnosti vznikajú iba na okrajoch tesnenia. V prípade rúrových klapiek je riešenie vodorovného tesnenia zložitejšie. Väčšinou je vyrobené z profilovej gumy, ktorá je dotláčaná tlakom vody na rúru klapkového uzáveru (Obr. 8.59c).

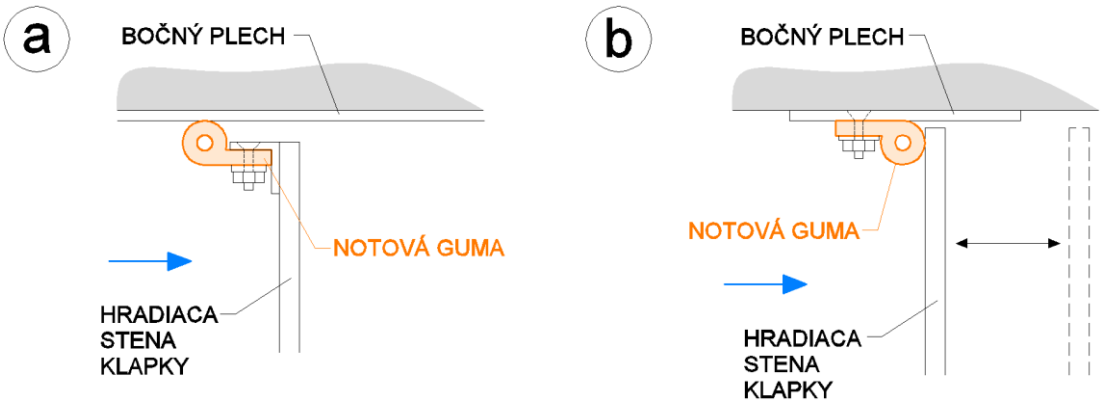


Obr. 8.59 Spôsoby vodorovného tesnenia klapkových uzáverov

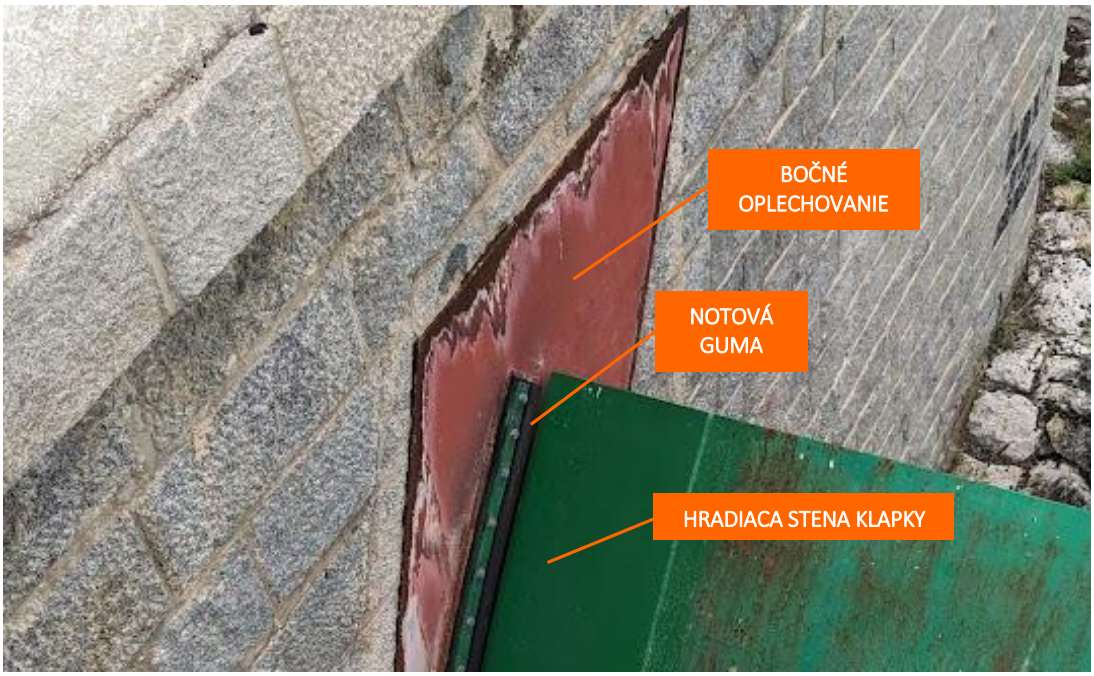
Bočné tesnenie klapkových uzáverov je možné rozdeliť na tesnenie:

- funkčné v každej polohe klapky (Obr. 8.60a, resp. Obr. 8.28b),
- funkčné iba v zahradenej (úplne vztýčenej) polohe (Obr. 8.60b, Obr. 8.61).

Na piliere sú v rozsahu styku tesnenia a piliera pripojené *bočné oceľové plechy* (Obr. 8.57, Obr. *8.58*, Obr. 8.61), aby gumové tesnenie „dokonale" priliehalo k stenám piliera. Bočný plech, konštrukčne pripojený na výstuž piliera, môže byť vyhrievaný, aby sa eliminovalo namŕzanie gumového tesnenia na bočné oplechovanie. Pohyblivosť konštrukcií počas mrazu je možné zabezpečiť napr. aj *bublinkovaním*.



Obr. 8.60 Spôsoby bočného tesnenia klapkového uzáveru: a – funkčné v každej polohe klapky, b – funkčné iba v zahradenej polohe klapky



Obr. 8.61 Bočné tesnenie dutej klapky funkčné iba v úplne vyhradenej polohe – hať Piešťany na rieke Váh (Kúpeľný ostrov), (Zdroj: archív autora)

8.3.6 Piliere klapkových uzáverov

Klapkové uzávery nepotrebujú drážky a časť hydrostatického tlaku vody sa prenáša cez piliere do spodnej stavby iba v prípade zavesených klapiek. Preto klapkové hate nepotrebujú masívne piliere. Vzhľadom na princíp fungovania klapiek, môžu mať piliere podstatne nižšie ako napr. stavidlové hate (Kap. 5.5), čo predstavuje významný faktor pri začlenení klapkových hatí do prostredia (Obr. 8.62).

Pri podopretých klapkách je prevýšenie piliera nad maximálnu hornú hladinu minimálne $0{,}5$ m, resp. piliere môžu byť aj prelievané (Obr. 8.58).

Pri zavesených mechanicky ovládaných klapkách je výška piliera daná podmienkou umiestnenia strojovne nad Q_{100} (Obr. 8.51).

Pri zavesených hydraulicky ovládaných klapkách je výška piliera limitovaná výškovým umiestnením servovalca. V prípade, že je servovalec umiestnený pod hladinou maximálnej hornej hladiny (Obr. 8.63) , tak je prevýšenie piliera nad max. hornú hladinu minimálne $0{,}5$ m.

Obr. 8.62 Vizualizácia navrhovaného Vodného diela Ladmovce na rieke Bodrog

Obr. 8.63 Zavesená klapka ovládaná hydraulickým piestom umiestneným pod hladinou maximálnej prevádzkovej hladiny – hať Preseľany nad Ipľom (Zdroj: biomonitoring.sk,© David Stanislav)

Kontrolné otázky

Ako delíme klapkové uzávery?

Aký je princíp manipulácie s klapkovými uzávermi?

Aké sú výhody a nevýhody klapkových uzáverov?

Čo tvorí nosný systém doskových klapiek?

Čo tvorí nosný systém rúrových klapiek?

Čo tvorí nosný systém dutých klapiek?

Ako sa ovládajú klapkové uzávery?

Ako sa tesnia klapkové uzávery?

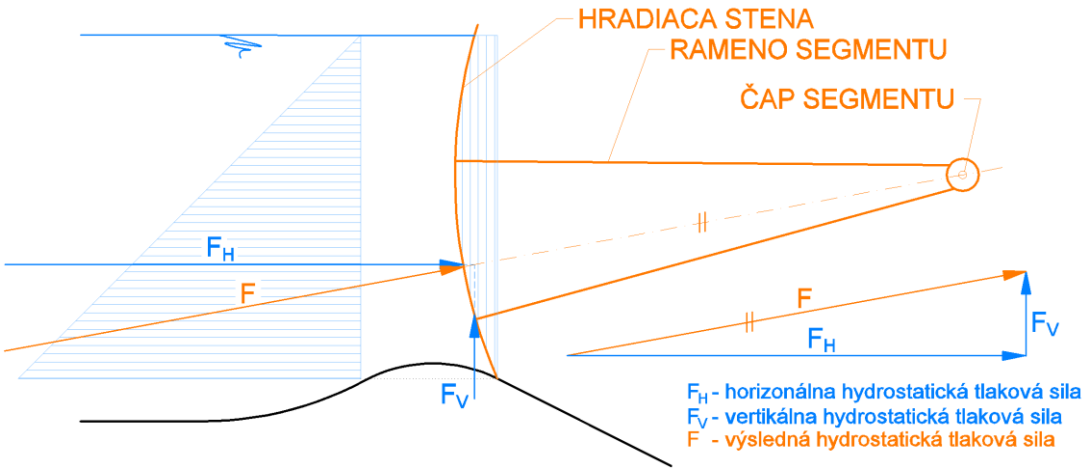
Aké sú zásady pri návrhu haťových pilierov klapkových uzáverov?

8.4 Segmentové uzávery

Segmentové uzávery sú tvorené celistvou hradiacou konštrukciou, ktorej os otáčania sa nachádza v mieste čapov umiestnených na koncoch ramien mimo hradiacej steny.

Sily na manipuláciu so segmentom sú podstatne menšie ako pri stavidlách, pretože na ovládanie segmentu je potrebná prakticky iba sila zodpovedajúca tiaži uzáveru.

Segmentové uzávery sú tvorené celistvou hradiacou konštrukciou, ktorej os otáčania sa nachádza v mieste čapov umiestnených na koncoch ramien mimo hradiacej steny (Obr. 8.64). Vyhradzovanie a zahradzovanie hať ového poľa zaisťuje otáčavý pohyb hradiacej plochy po kruhovej dráhe okolo čapov ramien. Výhodou segmentových uzáverov je to, že výslednica síl tlaku vody prechádza osou otáčania (t. j. cez čap segmentu) a tlak vody nemá vplyv na ovládacie sily. Preto je na ovládanie segmentov potrebná iba sila zodpovedajúca tiaži uzáveru a zanedbateľnému treniu v čapoch ložísk a treniu bočného tesnenia (Obr. 8.65). Sila na manipuláciu so segmentom je preto podstatne menšia ako pri stavidlách. Ako určitá nevýhoda segmentov je sústredené namáhanie pilierov v mieste uchytenia čapov.



Obr. 8.64 Stanovenie výslednej hydrostatickej sily pôsobiacej na segment s tlačenými ramenami

Segmentové uzávery je možné rozdeliť podľa:

- umiestnenia čapov a spôsobu namáhania ramien na segmenty:
  - **s tlačenými ramenami** (Obr. 8.73),
  - **s ťahanými ramenami** (Obr. 8.74).
- spôsobu pohybu na:
  - **zdvižné** (Kap. 8.4.4),
  - **spustné** (Kap. 8.4.5).
- členenia na:
  - **celistvé (jednodielne) –** zdvižné alebo spustné,
  - **delené po výške –** s nasadenou klapkou (Kap. 8.2.8, Kap. 8.4.6), dvojité (Kap. 8.2.9, Kap. 8.4.7)).

Najpoužívanejším typom segmentového uzáveru sú celistvé zdvižné segmenty s tlačenými ramenami (Obr. 8.65).

Najpoužívanejším typom segmentového uzáveru sú celistvé zdvižné segmenty.

Obr. 8.65 Zdvižný segment s tlačenými ramenami – Vodné dielo Dalešice na rieke Jihlava , ČR (Zdroj: © MUDr. Tomáš Török)

8.4.1 Nosný systém segmentov

Základnými prvkami nosného systému segmentových uzáverov sú:

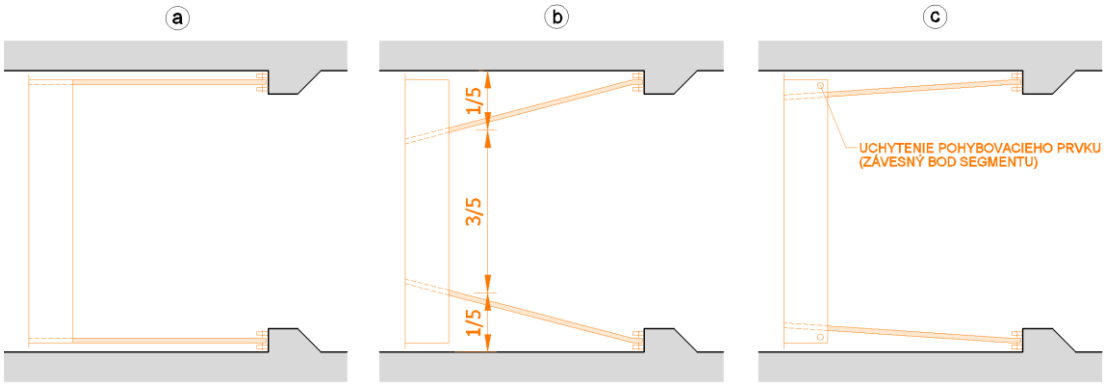
- **hradiaca stena,**
- **zvislé nosníky – *priečniky*,**
- **vodorovné nosníky – *pozdĺžniky*,**
- **ramená segmentu,**
- **čapy segmentov** (Obr. 8.65).

Hradiace stena je vo väčšine prípadov valcovitá, vytvorená z oceľového plechu. Polomer jej zakrivenia zodpovedá dĺžke ramien segmentu. Vzhľadom na možný vznik vlnenia hladiny hornej vody spôsobeného vetrom je konštrukcia segmentu prevýšená nad hladinu normálneho vzdutia o $0{,}2$ až $0{,}4$ m. Aby plech hradiacej steny mal hospodárnu hrúbku je podopretý (vystužený) sústavou priečnikov a pozdĺžnikov (Obr. 8.67). Hradiaca stena bezprostredne preberá tlak vody, ktorý je z nej prenášaný na pozdĺžniky, z pozdĺžnikov na priečniky a z priečnikov na hlavný vodorovný nosník, ktorý môžu tvoriť:

- *dva* (Obr. 8.68, Obr. 8.75), resp. *tri hlavné pozdĺžniky* (Obr. 8.87),
- *trojpásový nosník* tzv. *trojbok*, alebo
- *skriňový (uzavretý) nosník*, ktorý je tuhý v priehybe aj v krútení, a je vhodný v zimnej prevádzky (vyhrievanie dutého priestoru). Súčasne uľahčuje aj údržbu a nátery konštrukcie.

Skriňový nosník môže mať v priečnom reze napr. tvar trojuholníka (Obr. 8.82), lichobežníka (Obr. 8.67), šošovky, elipsy, resp. môže byť zložený z viacerých geometrických entít (Obr. 8.76). Z hlavného vodorovného nosného systému je zaťaženie cez *ramená segmentu* prenášané do otočných čapových ložísk uchytených na pilierových konzolách a z nich do haťových pilierov.

Ramená segmentu môžu byť k hlavnému nosníku **kolmé** alebo **šikmé** (Obr. 8.66).

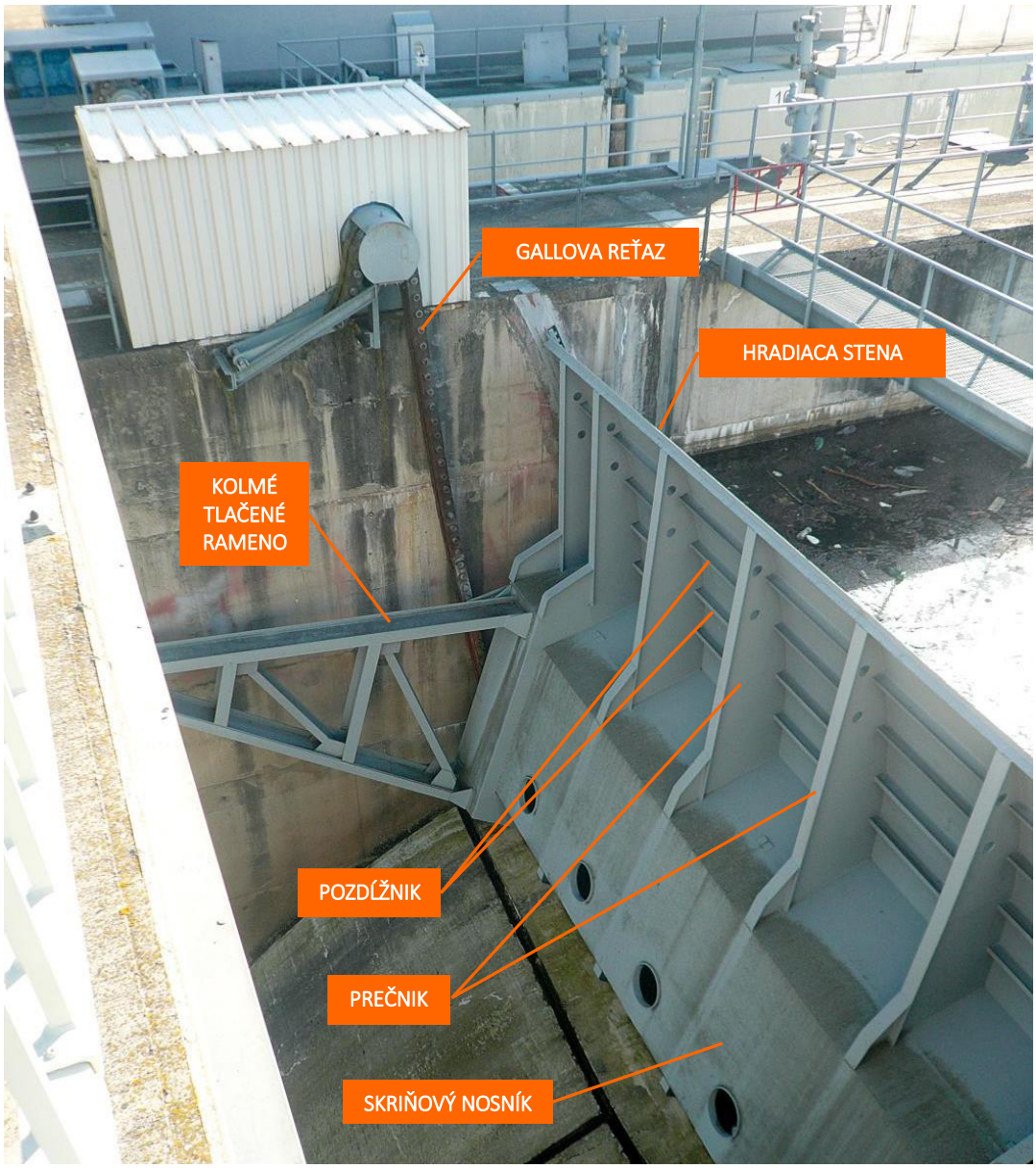


Obr. 8.66 Usporiadanie ramien segmentových uzáverov: a – kolmé, b – šikmé, c – mierne šikmé

Kolmé ramená (Obr. 8.67) sú pripojené na oba konce hlavného vodorovného nosníka, takže sú rovnobežné s haťovými piliermi. Kolmé ramená sa používajú pri všetkých typoch segmentov. Pri segmentoch, pri ktorých sa reguluje hladina hornej vody aj prepadom (napr. spustné

Šikmé ramená sú staticky výhodnejšie ako kolmé ramená, pretože v nosnom systéme segmentu vznikajú menšie ohybové momenty.

segmenty, segment s nasadenou klapkou), je ramená nutné chrániť pred priamym dopadom vody bočnými štítmi (Obr. 8.77).

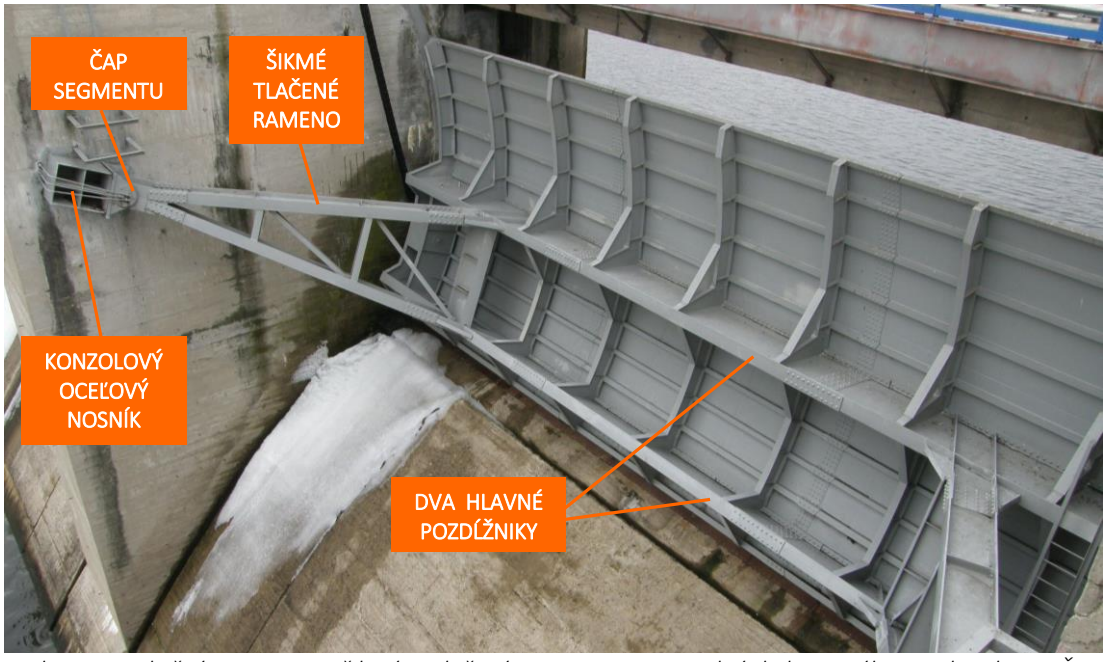


Obr. 8.67 Jednostranne ovládaný zdvižný segment s tlačenými ramenami s hradiacou výškou 7,0 m a s hradiacou šírkou 12,0 m na hati Vodného diela Hněvkovice na rieke Vltave, ČR (Zdroj: konstrukce.cz)

Šikmé ramená (Obr. 8.68) sú staticky výhodnejšie (v nosnom systéme segmentu vznikajú menšie ohybové momenty), ale navrhujú sa iba pri jednoduchých zdvižných segmentov, pri ktorých sa reguluje hladina hornej vody iba výtokom pod segmentom. V prípade segmentov, ktoré regulujú prietok cez profil hate aj prepadom, by bola pri šikmých ramenách problematická ich ochrana pred priamym dopadom vody. Pripojenie šikmých ramien

Čapy segmentov by mali byť umiestnené tak, aby boli ľahko prístupné pre revízie a mazanie a súčasne, aby nerušili prúdenie vody a netrpeli nárazmi plávajúcich predmetov a ľadových krýh, prípadne vyplavovaním maziva.

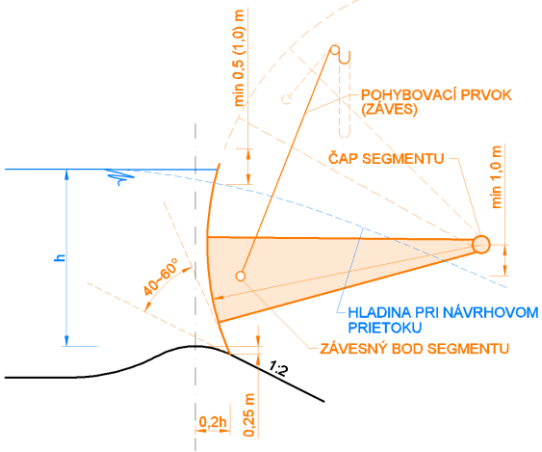
k hlavnému vodorovnému nosníku segmentu sa volí cca v $1/5$ jeho dĺžky od koncov tak, aby výsledná reakcia od tlaku vody prechádzala ramenom.



Obr. 8.68 Zdvižný segment so šikmými tlačenými ramenami – Vodné dielo Kamýk na rieke Vltave, ČR (Zdroj: ©Jan Klimeš)

Mierne šikmé ramená (Obr. 8.65) sa navrhujú pre vytvorenie priestoru pre uchytenie pohybovacieho prvku (napr. Gallovej reťaze).

Čapy segmentov by mali byť umiestnené tak, aby boli ľahko prístupné pre revízie a mazanie, a súčasne aby nerušili prúdenie vody a netrpeli nárazmi plávajúcich predmetov a ľadových krýh, prípadne vyplavovaním maziva. Preto sa čapy umiestňujú nad hladinu návrhového prietoku hate min. $1{,}0$ m tak, aby sa dal segment vyhradiť $0{,}5$ m, resp. $1{,}0$ m (pri predpoklade veľkých plávajúcich predmetov) nad úroveň hladiny pri pretekaní návrhového prietoku (Obr. *8.69*). Tejto podmienke musí byť prispôsobené aj umiestnenie ovládacích prvkov segmentu.

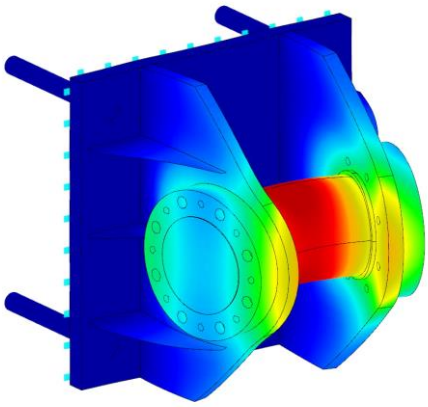


Obr. 8.69 Schéma zdvižného segmentu s tlačenými ramenami

Do čapov segmentov sa prenášajú veľké radiálne aj axiálne sily, preto musia byť na pilieroch adekvátne uchytené. Prevažná väčšina segmentov má na konci ramien čapové ložiská (Obr. 8.65, Obr. 8.70) uložené na:

- železobetónových konzolách vystupujúcich z piliera (Obr. 8.87),
- na konzolovom oceľovom nosníku zabetónovanom, resp. ukotvenom v pilieri (Obr. 8.68),
- na zváranom skriňovom oceľovom nosníku (Obr. 8.93).

V prípade, že stredom piliera neprechádza dilatačná škára, oceľový nosník obyčajne prechádza celou šírkou piliera. Na ochranu čapov pred prepadajúcou vodou býva, napr. v prípade spustných, resp. čiastočne spustných segmentov, čapové ložisko uložené vo výklenku piliera (Obr. 8.76).



Obr. 8.70 Simulácia napätí a pretvorení čapového ložiska segmentu s tlačenými ramenami matematickým modelom © DLUBAL (Zdroj: dlubal.com)

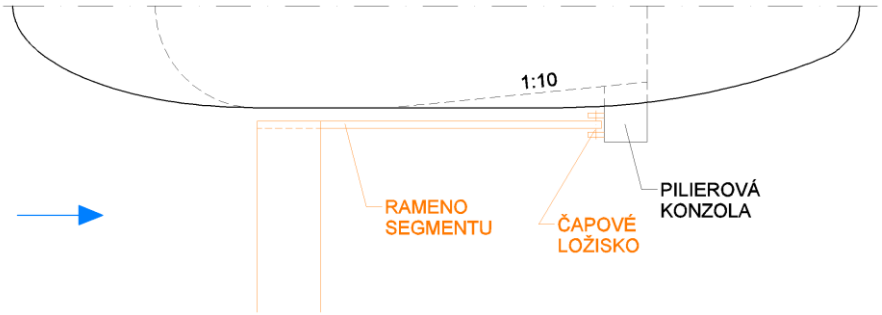
8.4.2 Ovládanie segmentov

Ovládanie segmentov je najčastejšie obojstranné – **mechanické,** napr. pomocou cievovej alebo ozubenej tyče (Obr. 8.83), lán alebo Gallovej reťaze (Obr. 8.75, Obr. 8.77, Obr. 8.88), ale v súčasnosti sa navrhuje najmä **hydraulické** pomocou hydraulických piestov (Obr. 8.84, Obr. *8.89*). Pri obojstrannom ovládaní je nutné, aby bol zabezpečený synchrónny pohyb ovládacích prvkov. Jednostranné ovládanie je možné navrhnúť pri menších hradených šírkach, resp. pri segmentoch dostatočne tuhých na krútenie (Obr. 8.67). Na ochranu pohybovacích prvkov, resp. ramien segmentu, môže byť hradiaca stena segmentu predĺžená a zasunutá spolu s ovládaním a ramenami do výklenku v pilieri (Obr. 8.82). Vzhľadom na to, že sa prepadový lúč pri voľnom páde prirodzene rozširuje aj do výklenku piliera, býva takáto ochrana málo účinná. Vhodnejšia je ochrana pomocou *bočných štítov* (Obr. 8.77, Obr. 8.81, Obr. 8.83).

8.4.3 Piliere segmentov

Haťové piliere segmentových uzáverov môžu byť (vzhľadom na to, že nepotrebujú v pilieroch drážky) relatívne úzke (Obr. 5.58). Tak ako v prípade stavidlových uzáverov musí byť možné vyhradiť segmenty až nad hladinu hornej vody (Kap. 5.5, Obr. 5.62). Vzhľadom na „zakrivený“ tvar segmentového uzáveru môžu byť piliere nižšie ako pri stavidlových uzáveroch (Obr. 8.89).

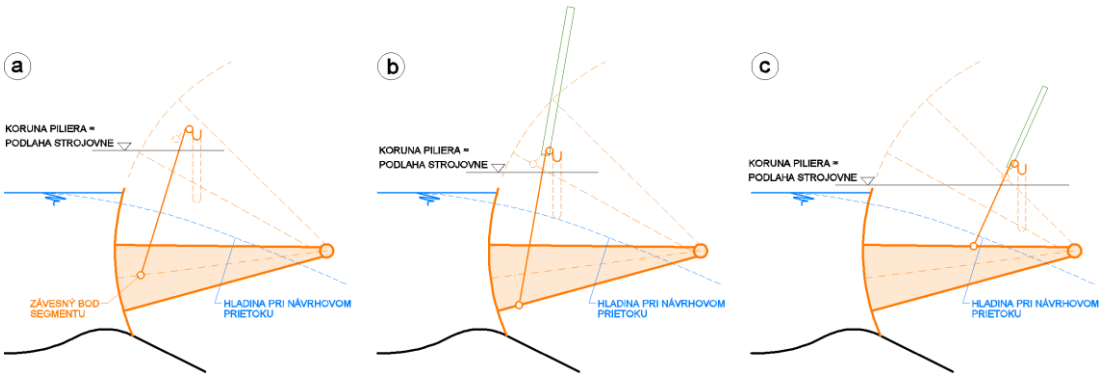
Oproti stavidlovým a klapkovým uzáverom sú však piliere segmentov dlhšie, pretože je na nich nutné, medzi predné a zadné zaoblené zhlavie, umiestniť dostatočne dlhú priamu časť, a to minimálne v rozsahu dosadania bočného tesnenie (Obr. 8.77). Zároveň je nutné na pilieroch umiestniť pilierovú konzolu na uchytenie ramien segmentov (Obr. 8.71).



Obr. 8.71 Pôdorysný tvar haťového piliera segmentu s tlačenými ramenami

Pilierové konzoly môžu byť umiestnené aj v zaoblenej časti zadného zhlavia, resp. úplne na konci piliera. Na dĺžku piliera často vplýva aj nutnosť prenesenia síl prenášaných z ramien segmentov do čapov do opačnej časti piliera. Pre zjednodušenie sa často prúdnicový tvar predného zhlavia nahrádza jednoduchšími tvarmi – napr. kruhovým tvarom zhlavia. Zadnú zaoblenú časť piliera je možné nahradiť priamou časťou v sklone $1:10$.

Na *výšku piliera* má vplyv aj umiestnenie *závesného bodu segmentu.* Ten býva obyčajne umiestnený za hradiacou stenou na vzdušnej strane segmentu (Obr. 8.77). V prípade, že je závesný bod segmentu umiestený v osi symetrie oboch ramien (Obr. 8.72a), sú oba rámy rovnako namáhané. Umiestnenie závesného bodu segmentu čo najnižšie, umožňuje znížiť výšku haťového piliera (Obr. 8.72b). Na zníženie výšky piliera je možné umiestniť závesný bod aj na horné rameno segmentu, bližšie k otočnému čapu (Obr. 8.72c). Takéto umiestnenie umožňuje výrazne znížiť dĺžku zdvihu. Pri ovládaní napr. pomocou hydraulického piestu a servovalca (zelená), je možné takýmto spôsobom umiestnenia závesného bodu dosiahnuť, nielen zníženie výšky piliera, ale aj výrazné zmenšenie rozmerov hydraulického ovládania. Na druhej strane sú v tomto prípade k zdvihu potrebné väčšie sily. Najmenšiu výšku piliera umožní umiestnenie závesného bodu na dolnom okraji návodnej strany hradiacej steny (Obr. 8.94). Pohybovací prvok je však v tomto prípade vystavený účinkom vodného prúdu.



Obr. 8.72 Vplyv umiestnenia závesného bodu segmentu na výšku piliera

8.4.4 Zdvižné segmenty

Jednoduché *zdvižné segmenty* sa navrhujú pre väčšie hradené výšky od 3,0 m a viac a pre stredné šírky haťových polí od 15 do 20 m.

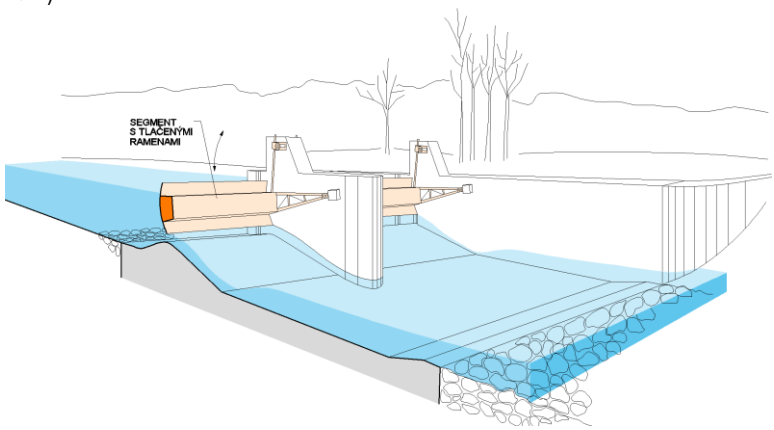
Vzhľadom na to, že čapy a ramená segmentu s ťahanými ramenami sú trvale pod hladinou vody, dáva sa prednosť (napriek nepriaznivejšiemu namáhaniu na vzper) segment s tlačenými ramenami.

Podľa umiestnenia čapov a spôsobu namáhania ramien ich delíme na segmenty s tlačenými ramenami (Obr. 8.73, Obr. 8.65, Obr. 8.67, Obr. 8.68, Obr. 8.75) a na segmenty s ťahanými ramenami (Obr. 5.9, Obr. 8.74).

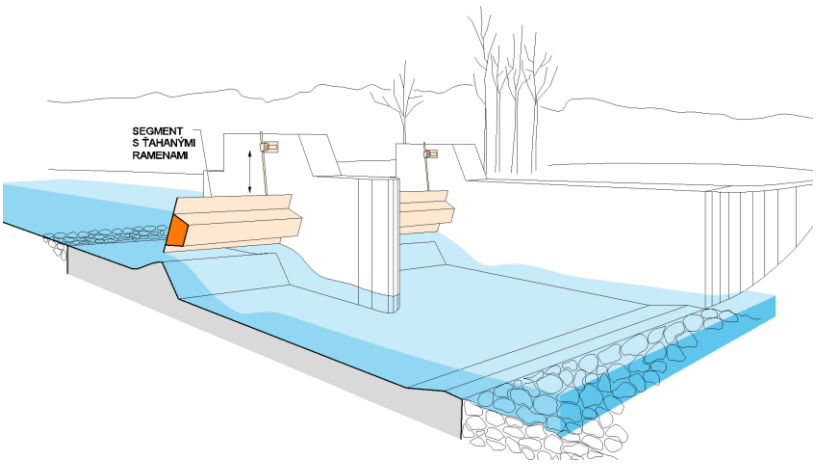
Vo všeobecnosti sa dáva prednosť riešeniu s tlačenými ramenami, aj keď sú u neho ramená namáhané nepriaznivejšie – na *vzper.* Nevýhody riešenia s tlačenými ramenami sú charakteru:

- hydraulického – prúdenie je nepriaznivo ovplyvňované konzolami čapov, ramenami a prípadne aj nosným systémom segmentu,
- prevádzkového – čapy, ramená a prípadne aj nosný systém segmentu sú trvale pod hladinou vzdutej vody. T. z., že revízie týchto prvkov je možné uskutočniť pri dostatočnom znížení hladiny nad haťou, alebo po vyčerpaní vody z priestoru medzi provizórnym hradením (Kap. 9) a segmentom, t. j. pri úplnom odstavení uzávera z prevádzky.

Pri zdvižných segmentoch s ťahanými ramenami sa je možné stretnúť aj s rovinnou hradiacou stenou (Obr. 8.74).



Obr. 8.73 Hať so zdvižným segmentom s tlačenými ramenami



Obr. 8.74 Hať so zdvižným segmentom s ťahanými ramenami

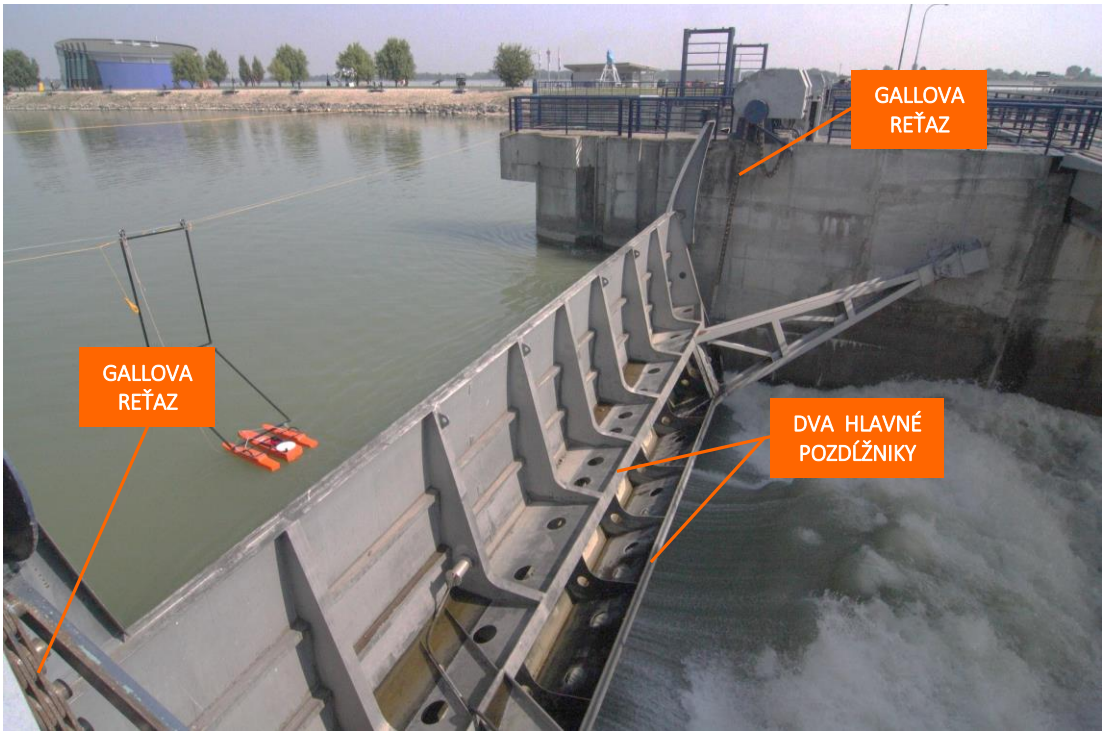
Výhodou zdvižných segmentov je ich schopnosť prepúšťania splavenín na štrkonosných tokoch vhodným nadvihnutím jedného alebo viacerých segmentov.

Zdvižné segmenty udržujú hladinu nad haťou na konštantnej úrovni pomocou regulácie výtokového množstva vody cez otvor/y medzi korunou priepadu a spodným obrysom segmentu/ov. Citlivosť tejto regulácie je však veľmi obmedzená. Nevýhodou je aj to, že zdvižné segmenty (podobne ako zdvižné stavidlá) nedokážu (bez úplného vyhradenia) prepúšťať ľadové kryhy a plávajúce predmety. V prípade, že to vyžaduje napr. koncepcia vodného diela, je možné prepúšťanie krýh a plavenín prepadom ponad horný okraj zdvižného segmentu. V takomto prípade je nevyhnutné, aby prepadová hrana (najmä jej tvar) bol na tento účel náležite upravený (Kap. 8.4.5). Za účelom eliminácie kmitania sa potom na priepadovej ploche navrhujú aj rozrážače (Obr. 8.77).

Výhodou zdvižných segmentov je ich schopnosť prepúšťania splavenín na štrkonosných tokoch vhodným nadvihnutím jedného alebo viacerých segmentov.

Na *vodorovné (prahové) tesnenie* segmentu medzi spodnou stavbou a dolnou hranou uzáveru sa väčšinou používa gumové tesnenie (Obr. 8.78), ktorý musí preniesť celú tiaž segmentu na spodnú stavbu hate. Aby bolo zaistené dôkladné tesnenie môže byť dosadacia plocha prahu pootočená tak, aby bola kolmá na dotyčnicu k hradiacej stene segmentu v mieste dosadania. Takto sa vytvorí na spodnej stavbe hate menší „zárez“ (Obr. 8.78b).

Bočné tesnenie segmentov sa (ako v prípade klapkových uzáverov) navrhuje z profilovej gumy, aby tesnilo v každej polohe segmentu (Obr. 8.60a, Obr. 8.77). Na piliere sú v rozsahu styku tesnenie a piliera pripojené *bočné oceľové plechy* (Obr. 8.65), aby gumové tesnenie „dokonale“ priliehalo k stenám piliera. Bočný plech, konštrukčne pripojený na výstuž piliera, môže byť vyhrievaný, aby sa eliminovalo namŕzanie gumového tesnenia na bočné oplechovanie.

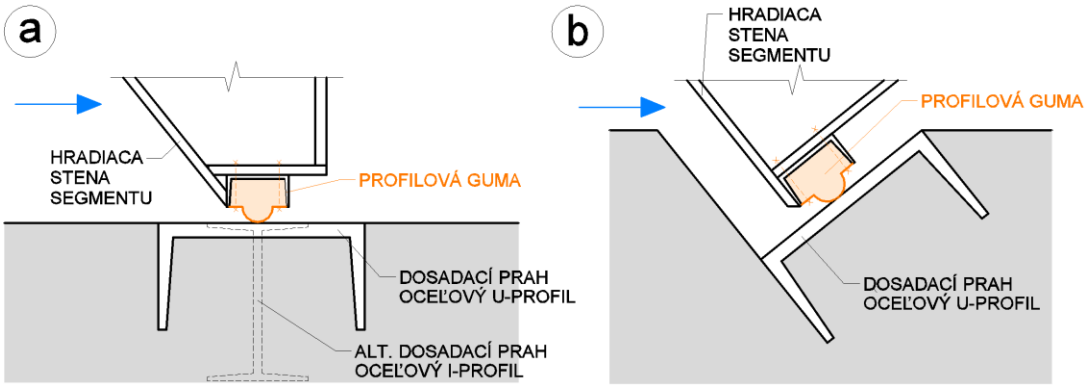


Obr. 8.75 Obojstranne mechanicky ovládaný zdvižný segment s šikmými tlačenými ramenami ovládaný Gallovou reťazou s hradiacou výškou 4,6 m a hradiacou šírkou 24,0 m – hať Vodného diela Čunovo na rieke Dunaj – tzv. Hať na obtoku, (Zdroj: stringfixer.com)

V prípade, že to vyžaduje napr. koncepcia vodného diela, je možné prepúšťanie krýh a plavenín prepadom ponad horný okraj zdvižného segmentu.

Obr. 8.76 Zdvižný segment s tlačenými ramenami obojstranne ovládaný Gallovou reťazou s hornou hranou konštrukcie upravenou pre prepúšťanie vody prepadom – hradiaca výška 2,5 m a hradiaca šírka 15,0 m – hať MVE Bulhary na rieke Dyje, ČR (Zdroj: archív autora)

Obr. 8.77 Zdvižný segment s mierne šikmými tlačenými ramenami a s hornou hranou konštrukcie upravenou pre prepúšťanie vody prepadom na hati MVE Bulhary na rieke Dyje, ČR (Zdroj: archív autora)



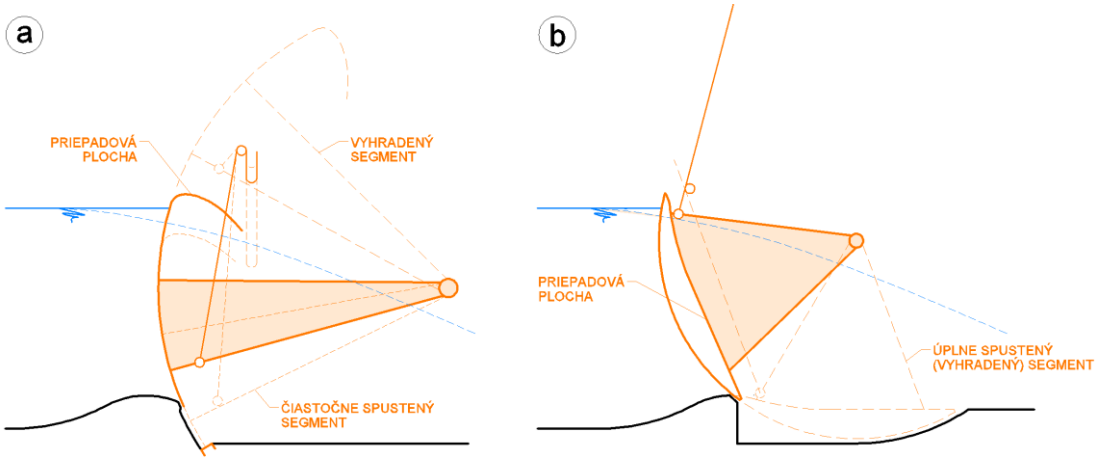
Obr. 8.78 Príklady vodorovného prahového tesnenia zdvižných segmentov

8.4.5 Spustné segmenty

V prípade, že sa pri prevádzke hate vyžaduje jemnejšia regulácia prietokov a prevádzanie plávajúcich predmetov a ľadových krýh prepadom, je možné jednoduché segmenty riešiť ako **úplne spustné**, resp. **čiastočne spustné** (Obr. 8.79). Spustné segmenty môžu hradiť relatívne veľké hradiace výšky (až 9,0 m).

Výhodou spustných segmentov je najmä schopnosť prepúšťania ľadových krýh a plávajúcich predmetov cez vrchnú časť segmentu.

Vzhľadom na zakrivenie segmentu spodná stavba nemusí byť až taká „hlboká" ako v prípade úplne spustného stavidla.



Obr. 8.79 Schéma: a – čiastočne spustného, b – úplne spustného segmentu

Čiastočne spustné segmenty prevádzajú bežné prietoky prepadom cez segment a až pri vyšších prietokoch sa zdvíhajú nad ich najvyššiu hladinu. Nevýhodou takejto manipulácie je podobne ako pri čiastočne spustných stavidlách to, že pri zdvíhaní segmentu zo spustenej polohy sa najskôr postupne uzatvára prietočný profil, pričom je nutné počítať aj s postupným zvyšovaním hladiny.

Pri *úplne spustnom segmente* sa môže v prípade vyšších prietokov celý segment zasunúť do spodnej stavby. Vzhľadom na zakrivenie segmentu spodná stavba nemusí byť až taká „hlboká" ako v prípade úplne spustného stavidla. Aby však spustný segment „netrpel", napr. unášanými splaveninami pri prechode povodňových prietokov, resp. aby bol jednoduchšie prístupný pri revíziách a opravách, je ho vhodné navrhnúť tak, aby ho bolo možné zdvihnúť až nad úroveň maximálnej hladiny.

Spustné segmenty sa neodporúča navrhovať na štrkonosných tokoch pretože hrozí, že sa bezprostredne za stupňom vytvorí nános splavenín, ktorý bude brániť spusteniu segmentu.

Spustné segmenty sa neodporúča navrhovať na štrkonosných tokoch, pretože hrozí, že sa bezprostredne za stupňom vytvorí nános splavenín, ktorý bude brániť spusteniu segmentu.

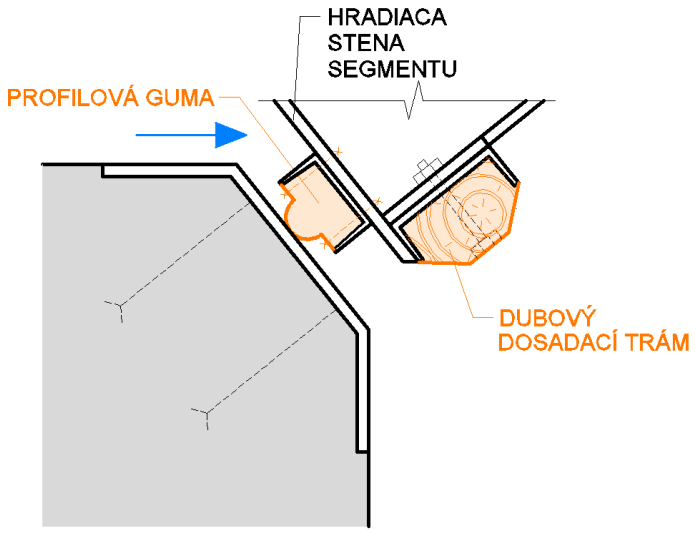
Spustením segmentu do spodnej stavby sa mení úroveň priepadovej hrany, cez ktorú vodu prepadá. Priepadová hrana by mala mať tvar *prúdnicovej – mierne tlakovej priepadovej plochy* (Obr. 8.77), čo by malo zabezpečiť dostatočnú stabilitu prepadajúceho lúča, a zabrániť rozkmitaniu konštrukcie. Pri spustných segmentoch je ako priepadová plocha upravený celý chrbát konštrukcie (Obr. 8.83). Na zníženie náročnosti vyhotovenia priepadovej plochy sa navrhuje zaoblenie kruhovým oblúkom, na ktorý nadväzuje ďalšia valcová plocha s väčším polomerom alebo rovinná plocha (Obr. 8.82). V prípade, že nosnú konštrukciu segmentu netvorí uzavretý skriňový nosník, je nutné navrhnúť priepadovú plochu tak, aby prepadajúca voda, resp. plávajúce predmety nenarážali na nosný systém segmentu (Obr. 8.81).

Spustné segmenty sa navrhujú prakticky iba s tlačenými ramenami. Je to dané tým, že v prípade spustných segmentov, ktoré by mali umiestnené čapy a ramená v hornej vode, by vyhradzovaniu (spúšťaniu) segmentu bránili splaveniny usadené pre uzáverom.

Vodorovné prahové tesnenie by malo byť navrhnuté tak, aby tesnilo iba v zahradenej polohe.

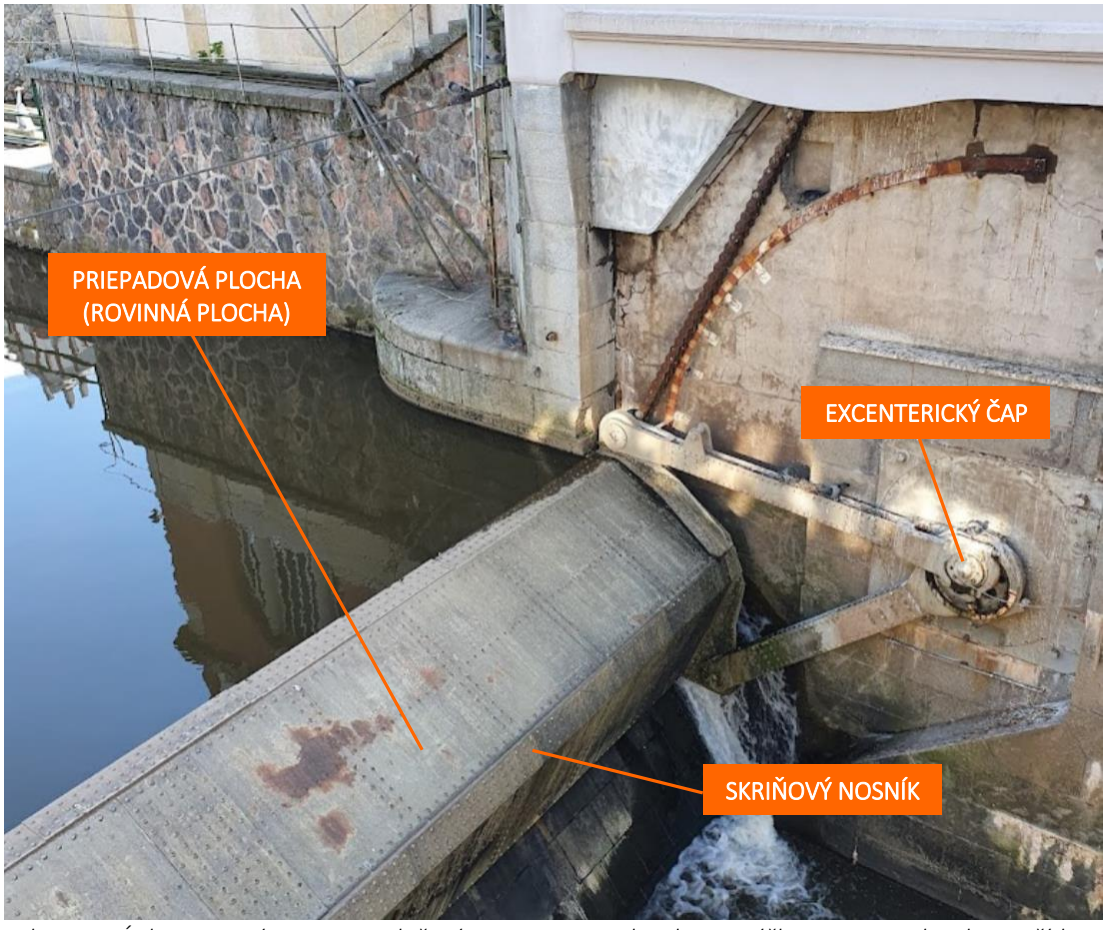
Vodorovné prahové tesnenie sa tak ako v prípade spustných stavidiel umiestňuje na dolnom okraji uzáveru. V prípade jeho umiestnenia na spodnej stavbe hate by bolo ťažko prístupné. Tesnenie by malo byť navrhnuté tak, aby tesnilo iba v zahradenej polohe (Obr. 8.80). V opačnom prípade by sťažovalo pohyb segmentu pri jeho vyhradzovaní (spúšťaní) a súčasne by bolo poškodzované nadmerným trením. Niekedy sú ramená segmentu pripojené na *excentrické* čapy (Obr. 8.82), čo umožňuje pred začiatkom pohybu hradiacej konštrukcie odtiahnuť jeho spodnú hranu od prahu haťového stupňa. V prípade čiastočne spustných segmentov sa na dolný okraj segmentu navrhuje aj *dosadací*, napr. dubový trám. Dosadací prah môže byť (ako v prípade zdvižných segmentov) pootočený tak, aby bol kolmý na dotyčnicu k hradiacej stene segmentu v mieste dosadania.

Bočné tesnenie je navrhované „štandardne“ tak, ako pri zdvižných segmentoch (Obr. 8.78b).

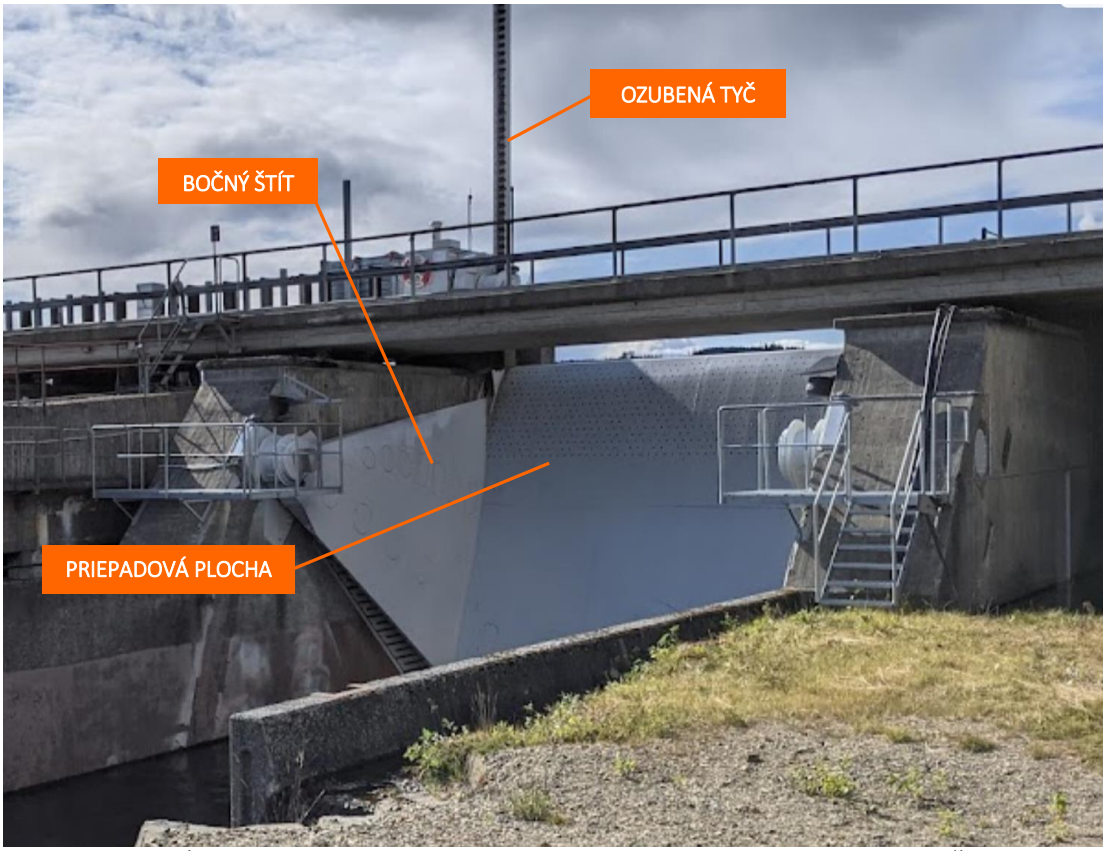


Obr. 8.80 Príklad vodorovného prahového tesnenia čiastočne spustného segmentu

Obr. 8.81 Prepúšťanie prietoku ponad čiastočne spustný segment s tlačenými ramenami s hradiacou šírkou 18,0 m – hať Čierna Voda, (Zdroj: mapio.net, © Peter Bugan)



Obr. 8.82 Úplne spustný segment s tlačenými ramenami s hradiacou výškou 2,24 m a hradiacou šírkou 18,0 m – hať Labskej vodnej elektrárne v Hradci Králové na rieke Labe, ČR (Zdroj: google.com/maps, ©Lucyna Czajkowska)



Obr. 8.83 Úplne spustný segment s tlačenými ramenami na Vodnom diele Bågede, Švédsko (Zdroj: google.com/maps, © Christoph Bauwers)

8.4.6 Segmenty s nasadenou klapkou

Segmenty s nasadenou klapkou sú vhodné pre toky nesúce splaveniny (preplachovanie výtokom pod segmentom) a aj plávajúce nečistoty a ľadové kryhy (prevádzanie prepadom).

Segmenty s nasadenou klapkou sa navrhujú pre relatívne veľké rozmedzie hradiacich výšok od cca 3,0 až po 20,0 m. Najvyššiu hradenú výšku na Slovensku má segment s nasadenou klapkou na hati Vodného diela Žilina, segment 11,4 m a nasadená klapka 3,3 m (Obr. 8.90).

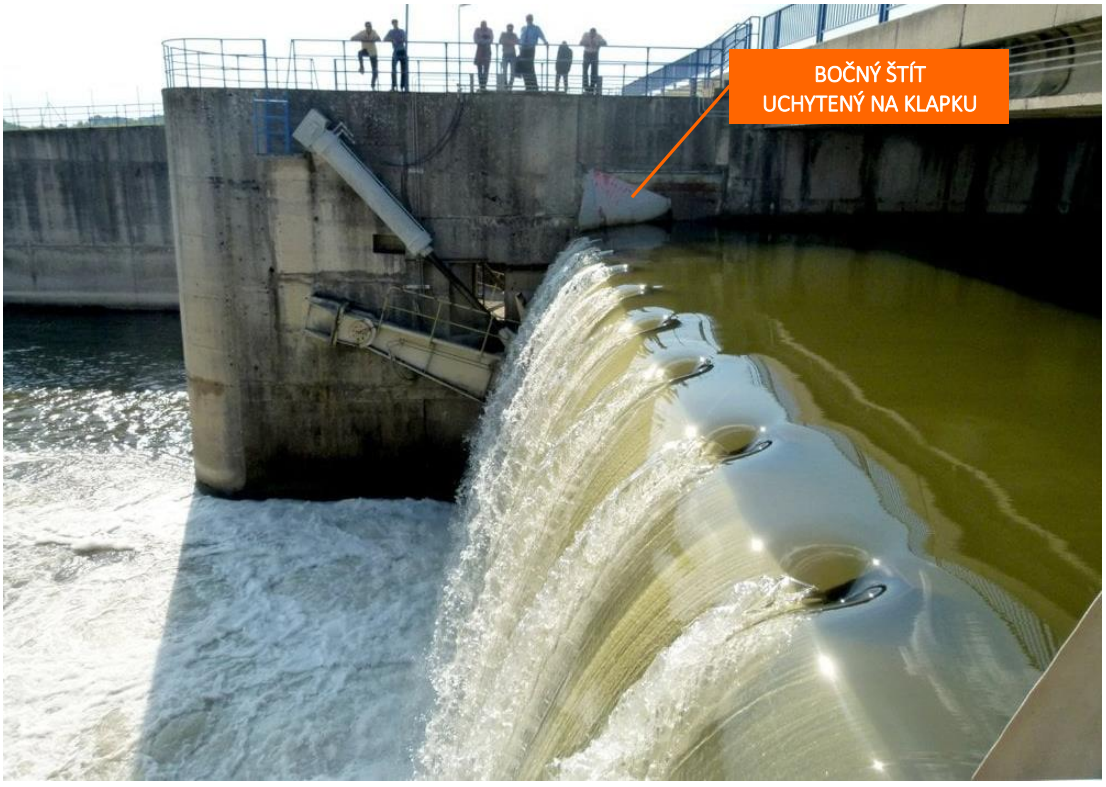
Z konštrukčného hľadiska sú segmenty s nasadenou klapkou zdvižné segmenty väčšinou s kolmými tlačenými ramenami, s rôznym nosným systémom (Kap. 8.4.1), ktoré majú na hornom okraji pripojenú buď *dutú* (Obr. 8.84), *rúrovú* (Obr. 8.87) alebo *doskovú klapku* (Obr. *8.90*), s ktorou tvoria jedno hradiace teleso.

Segmenty s nasadenou klapkou sú vhodné pre toky nesúce splaveniny (preplachovanie výtokom pod segmentom) a aj plávajúce nečistoty a ľadové kryhy (prevádzanie prepadom).

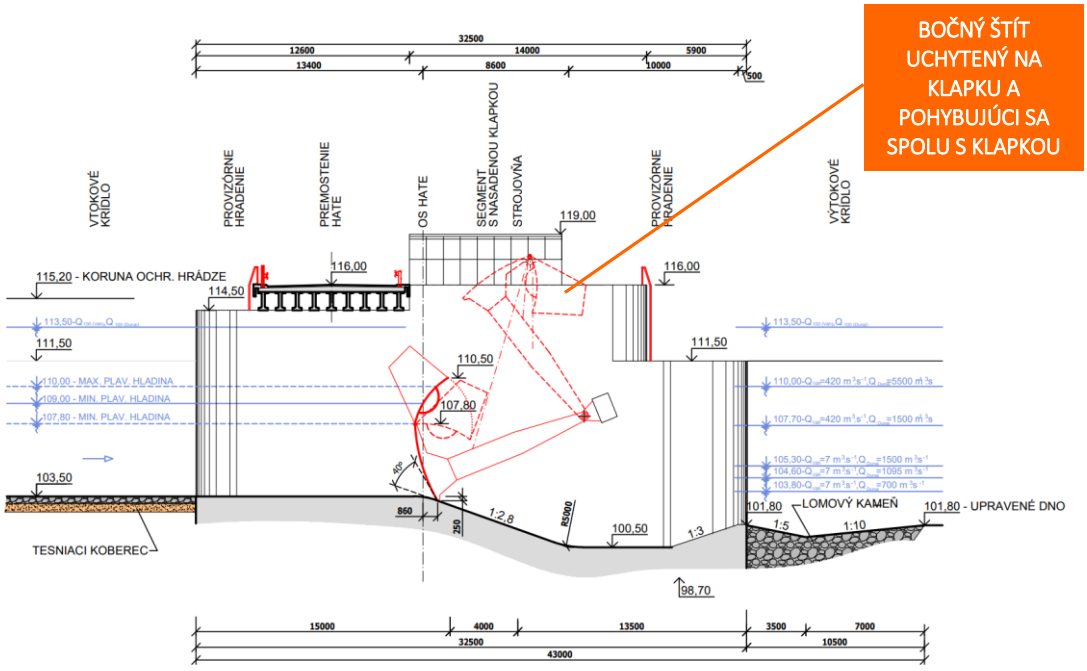
Nasadená klapka umožňuje jemnú reguláciu prietoku bez toho, aby sa muselo manipulovať s celou hradiacou konštrukciou. Z tohto dôvodu musí byť regulačná schopnosť klapky dostatočne veľká. Hradiaca výška nasadenej klapky dosahuje 30 až 35 % s celkovej hradiacej výšky a mala by byť minimálne taká veľká, ako je maximálny rozkyv hladiny v zdrži nad haťou.

Klapky sú na segmente (podobne ako na stavidle – Kap. 8.2.8) otočne prichytené, väčšinou pomocou závesového alebo čapového ložiska (Obr. 8.46).

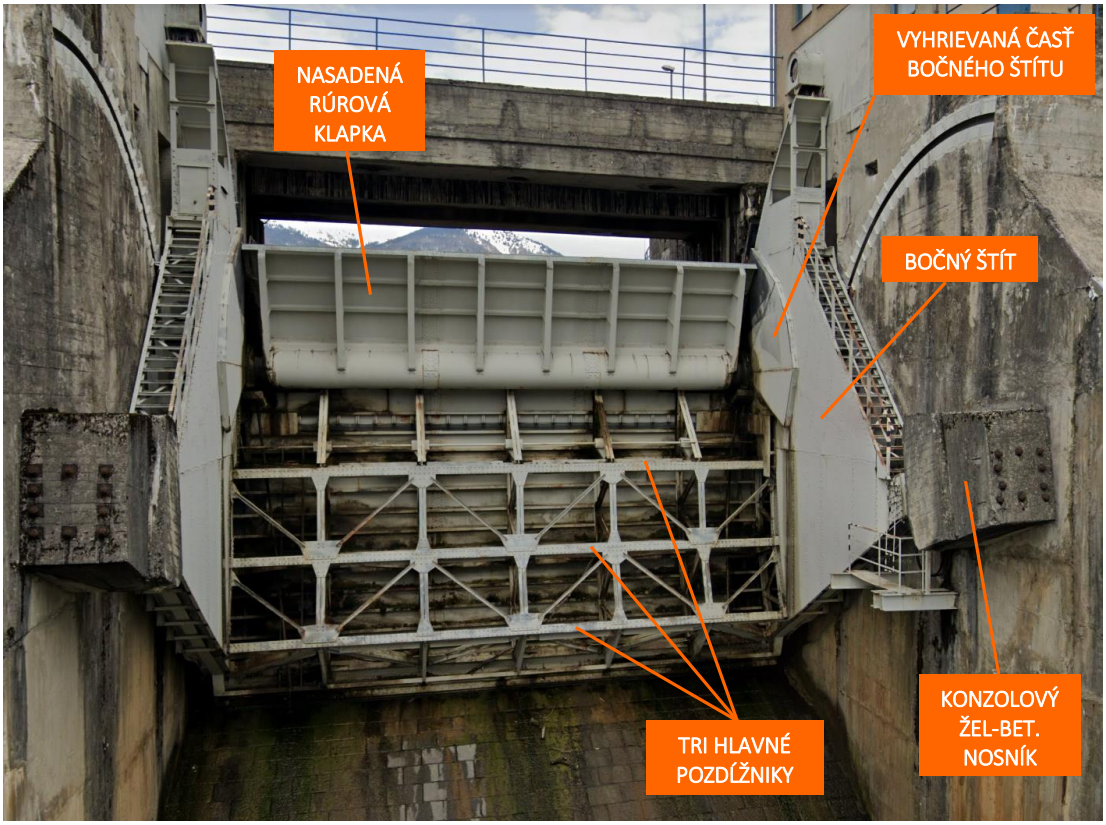
Obr. 8.84 Obojstranne hydraulicky ovládaný segment s nasadenou dutou klapkou s celkovou hradiacou výškou 7,5 m a šírkou 21 m na hati Vodného diela Veľké Kozmálovce na Hrone (Zdroj: © Martin Jurčo)



Obr. 8.85 Prepúšťanie prietoku cez nasadenú dutú klapku na segmente s celkovou hradiacou výškou 7,5 m a šírkou 21 m na hati Vodného diela Veľké Kozmálovce na Hrone (Zdroj: © Jana Némethová)



Obr. 8.86 Návrh segmentu s nasadenou dutou klapkou na hati plánovaného Vodného diela Kolárovo na Váhu



Obr. 8.87 Obojstranne mechanicky ovládaný segment s tlačenými ramenami a s nasadenou rúrovou klapkou s celkovou hradiacou výškou 10,0 m a šírkou 12,0 m na hati Vodného diela Krpeľany na Váhu (Zdroj: google.com/maps, © Google)

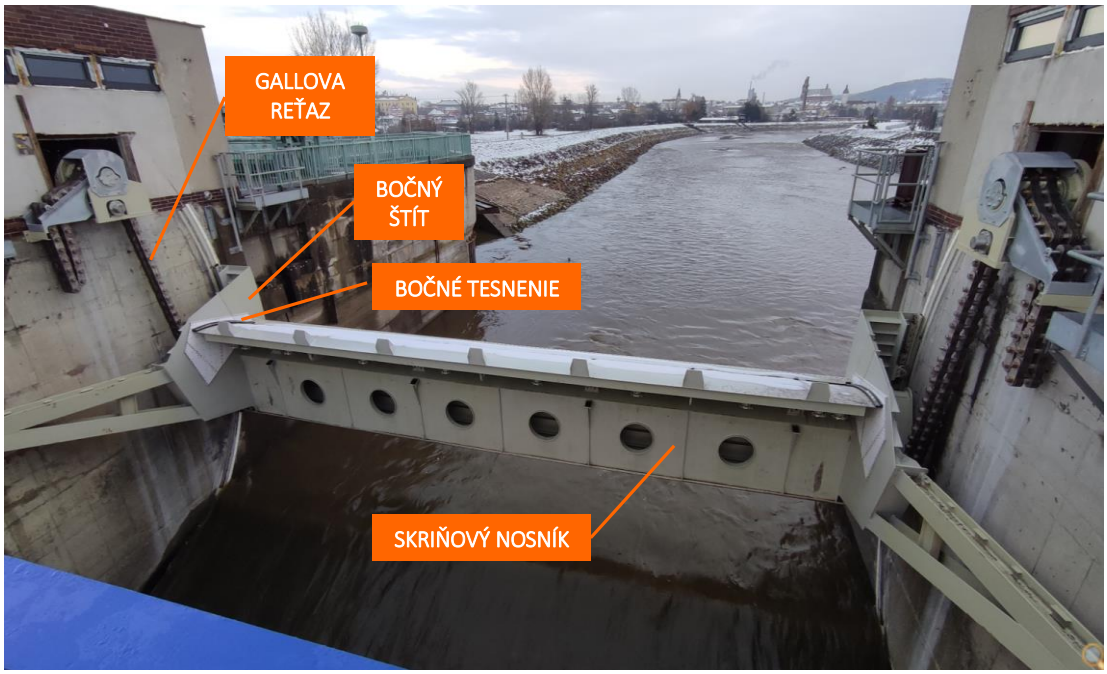
Ramená segmentu musia byť chránené pred dopadaním vody prepadajúcej cez klapku bočnými štítmi, ktoré sú buď uchytené na klapku a pohybujúce sa spolu s klapkou alebo sú uchytené priamo na ramenách segmentu.

Nasadená klapka musí byť navrhnutá tak, aby voda cez ňu prepadajúca nedopadala priamo na nosný systém segmentu.

Ramená segmentu musia byť chránené pred dopadaním vody prepadajúcej cez klapku *bočnými štítmi*:

- uchytenými na klapku a pohybujúcimi sa spolu s klapkou (Obr. 8.84, Obr. 8.85, Obr. 8.85). Bočné štíty sú vyrobené z pružného plechu a na chrbtovej strane majú prichytené gumové tesnenie, ktoré je tlakom vody dotláčané na pilier;
- uchytenými priamo na ramenách segmentu (Obr. 8.87, Obr. 8.88). Bočné štíty sú predĺžené pozdĺž vnútorných strán ramien až nad hladinu vzdutej vody. Medzi bočné štíty je na segment pripojená klapka, ktorá má na bočných stranách hradiacej steny *bočné tesnenie* doliehajúce na bočné štíty segmentu v celom rozsahu jej pohybu (Obr. 8.28b, Obr. 8.60a, Obr. 8.88). V rozsahu pohybu klapky môže byť bočný štít segmentu vyhrievaný, aby sa eliminovalo namŕzanie tesnenia.

Vodorovné tesnenie medzi segmentom a klapkou je riešené podobne ako v prípade stavidla s nasadenou klapkou (Obr. 8.28a).



Obr. 8.88 Prepúšťanie prietoku pod obojstranne mechanicky ovládaným segmentom s nasadenou dutou klapkou s celkovou hradiacou výškou 3,2 m a šírkou 16 m na hati Hranice na Bečve, ČR (Zdroj: ČVUT Praha, © Petr Valenta)

Ovládanie býva väčšinou obojstranné, synchronizované. Pohybovacími prvkami bývajú väčšinou Gallove reťaze (Obr. 8.88) alebo hydraulické piesty (Obr. 8.84, Obr. 8.89, Obr. 8.90). Ovládanie môže byť buď ***samostatné –*** zvlášť pre segment a zvlášť pre klapku, alebo ***spoločné***.

Spoločné ovládanie sa používa obyčajne pri menších hradiacich výškach. Zdvíhacím prvkom je väčšinou Gallova reťaz a princíp je podobný ako v prípade stavidla s klapkou (Obr. 8.29a).

Pri samostatnom ovládaní segmentu a nasadenej klapky sú všetky pohybovacie mechanizmy klapky umiestnené na ramenách segmentu, čím výrazne zvyšujú tiaž segmentu a potrebné zdvihové sily.

Samostatné ovládanie sa používa obyčajne pri väčších hradiacich výškach v prípade, že je kombinácia výtoku a priepadu vhodná pre tlmenie kinetickej energie vody vytekajúcej pod segmentom. Samostatnými pohybovacími prvkami sú pre segment aj klapku väčšinou hydraulické piesty. Klapka býva v strede (Obr. 8.90) alebo obojstranne podopretá (Obr. 8.84). V prípade mechanického samostatného ovládania je väčšinou segment ovládaný pomocou Gallovej reťaze a klapka je ovládaná podľa typu, napr. rúrová klapka môže byť ovládaná pomocou ovládacej páky (Obr. 8.42), ťahadla a vretenového mechanizmu (Obr. 8.55). Všetky pohybovacie mechanizmy klapky sú umiestnené na vrchných ramenách segmentu za bočnými štítmi, čím výrazne zvyšujú tiaž segmentu a potrebné zdvihové sily (Obr. 8.87). Výhodou samostatného ovládanie je najmä to, že segment je možné zdvíhať pri akejkoľvek polohe klapky.

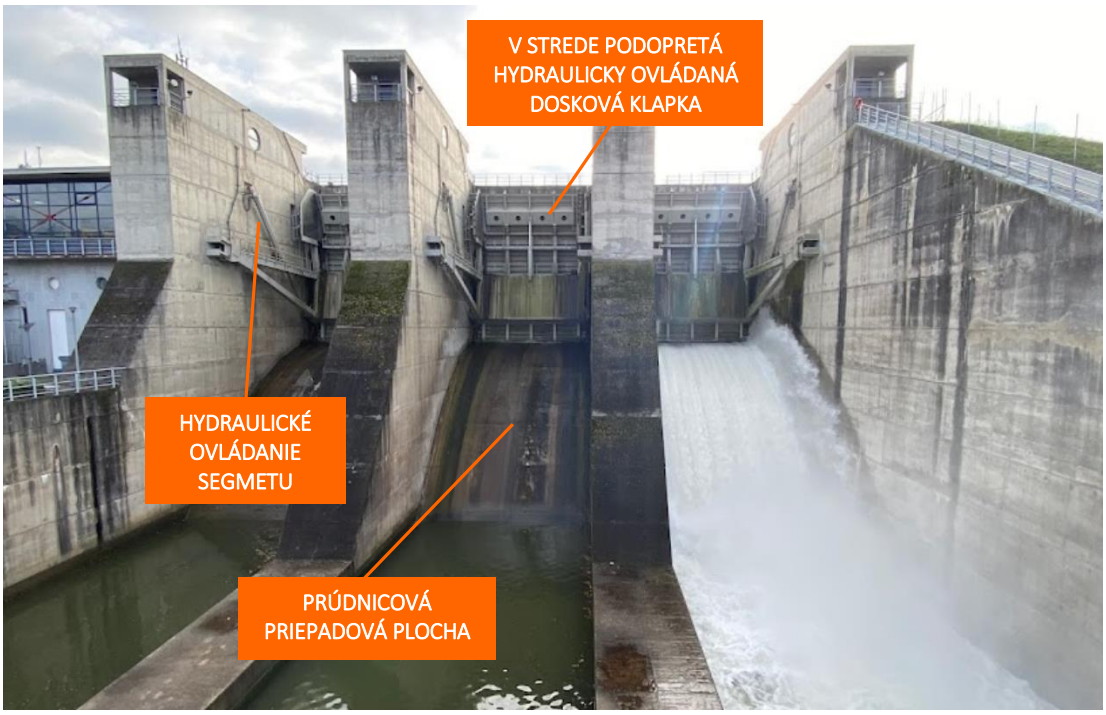
V minulosti sa pri väčšine segmentov s nasadenými klapkami navrhovalo širšie predné zhlavie haťových pilierov (Obr. 5.58). Ústupok v pilieri bol pritom taký široký ako rameno segmentu rovnobežné zo stenou zúženej časti piliera a bočný štít, ktorý kryl rameno segmentu lícoval so stenou rozšírenej časti piliera. Klapka v takomto prípade zaberala celú svetlú šírku haťového poľa.

V súčasnosti sa piliere hatí so segmentami s nasadenou klapkou navrhujú bez ústupkov s rovnými stenami. Bočné štíty sa posúvajú do vnútra haťového poľa o šírku ramien, prípadne pohybovacieho prvku, takže svetlá šírka klapky sa niečo zmenší (Obr. 8.88).

Pre menšie hradené výšky bolo vyvinuté riešenie pre tzv. *balenú hať*, ktorého hlavnou prednosťou je jeho výroba, montáž a preskúšanie funkcii priamo vo výrobnej hale (Obr. 8.91). Balené hate sa dopravujú priamo na stavenisko, kde sa celá konštrukcia osadí na pripravenú spodnú stavbu.

Obr. 8.89 Prepúšťanie prietoku cez klapku nasadenú na segmente ovládaným hydraulickým piestom s celkovou hradiacou výškou 4,6 m a hradiacou šírkou 15 m na Vodnom diele Illspitz na rieke Rýn, Rakúsko (Zdroj: stadtwerke-feldkirch.at)

Prednosťou „balených“ hatí vyvinutých pre menšie hradené výšky je, že sa dopravujú priamo na stavenisko, kde sa celá konštrukcia osadí na pripravenú spodnú stavbu.



Obr. 8.90 Prepúšťanie prietoku výtokom pod segmentom s nasadenou doskovou klapkou s celkovou hradiacou výškou 14,7 m a hradiacou šírkou 12 m na hati Vodného diela Žilina na Váhu (Zdroj: google.com/maps, © Pavol Hruška)

Obr. 8.91 „Balený“ segment s nasadenou klapkou s celkovou hradiacou výškou 3,2 m a šírkou 16 m – rekonštrukcia hate Hranice na Bečve, ČR (Zdroj: ČVUT Praha, © Petr Valenta)

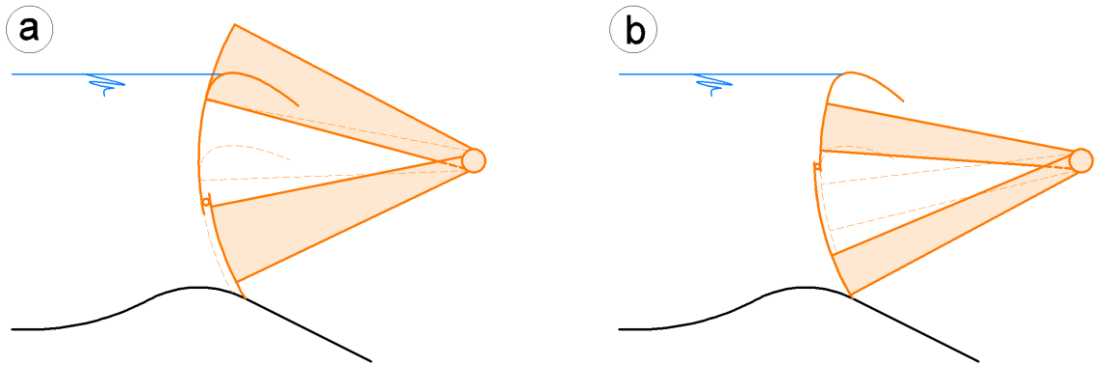
Vzhľadom na to, že sa manipuluje zväčša len s horným segmentom, je jednou z výhod dvojitých stavidiel úspora energie potrebnej na zdvih oproti „klasickému“ zdvižnému segmentu.

8.4.7 Dvojité (dvojdielne) segmenty

Dvojité segmenty sa navrhujú pre hradiace výšky 6,0 m a viac. Konštrukčne sa jedná o dva nezávislé segmenty, kde *horný segment* umožňuje jemnú reguláciu hladiny hornej vody a prepúšťanie ľadových krýh a plávajúcich predmetov. *Dolný segment* umožňuje prepúšťať splaveniny usadené pred haťou. Jednou z výhod, podobne ako u dvojitých stavidiel, oproti „klasickému“ zdvižnému segmentu (Kap. 8.4.4) je úspora energie potrebnej na zdvih, vzhľadom na to, že sa manipuluje zväčša len s horným segmentom.

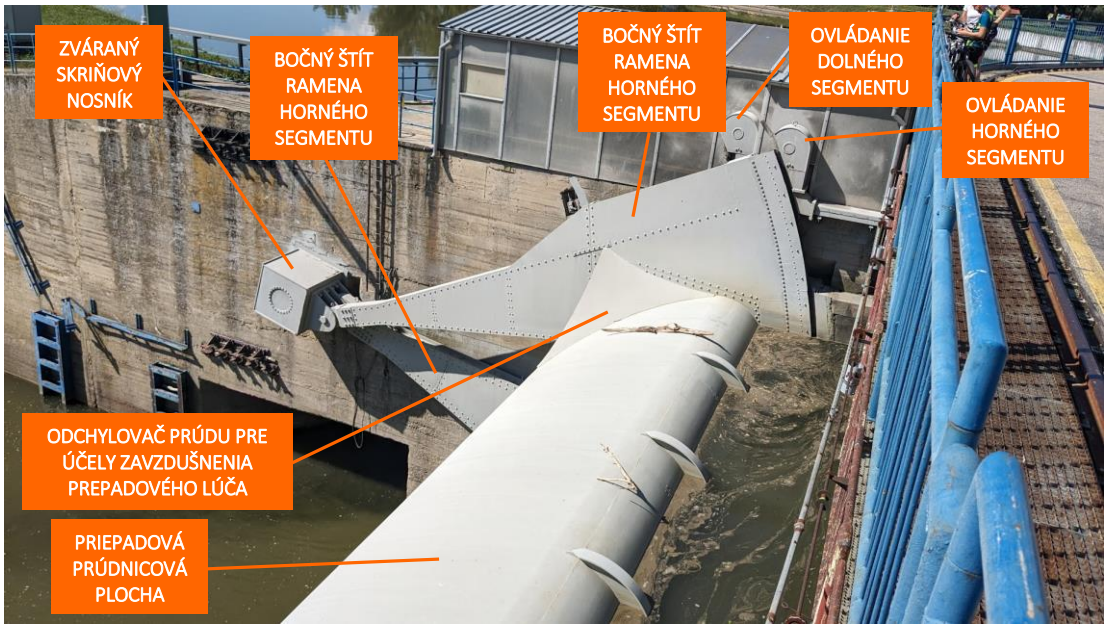
Konštrukčne môže byť dvojitý segment usporiadaný dvoma spôsobmi:

- horný segment sa zasúva pred spodný segment, tzv. *dvojitý hákový segment* (Obr. 8.92a),
- horný segment sa zasúva za dolný segment (Obr. 8.92b).

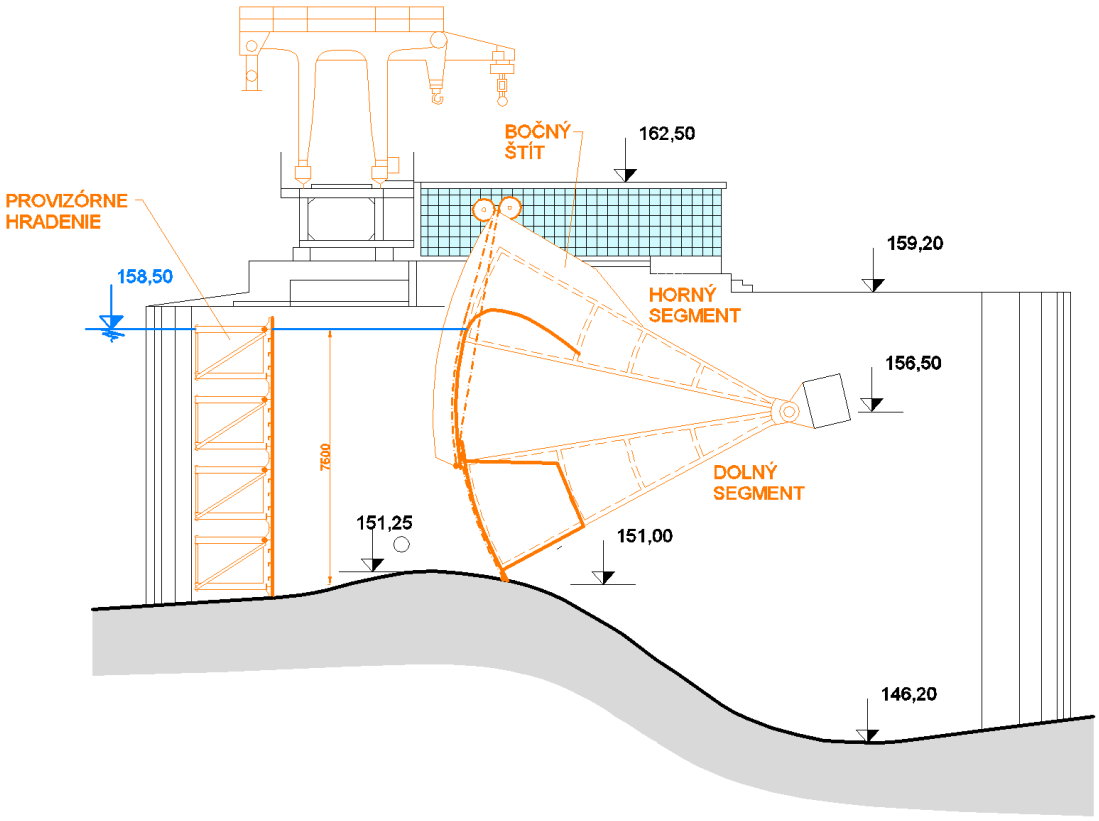


Obr. 8.92 Schémy konštrukčného riešenia dvojitého segmentu

Priepadová hrana horného segmentu sa navrhuje ako prúdnicová – mierne tlaková plocha. Ramená oboch segmentov sú chránené pred prepadajúcou vodou *bočnými štítmi* (Obr. 8.93).



Obr. 8.93 Obojstranne mechanicky ovládaný dvojitý hákový segment s tlačenými ramenami s hradiacou výškou 7,5 m a šírkou 16 m na hati Vodného diela Drahovce na Váhu (Zdroj: archív autora)



Obr. 8.94 Obojstranne mechanicky ovládaný dvojitý hákový segment s tlačenými ramenami s hradiacou výškou 7,5 m a šírkou 16 m na hati Vodného diela Drahovce na Váhu

Vodorovné (prahové) tesnenie dolného segmentu medzi spodnou stavbou a dolnou hranou uzáveru sa navrhuje väčšinou z gumy (Obr. 8.78).

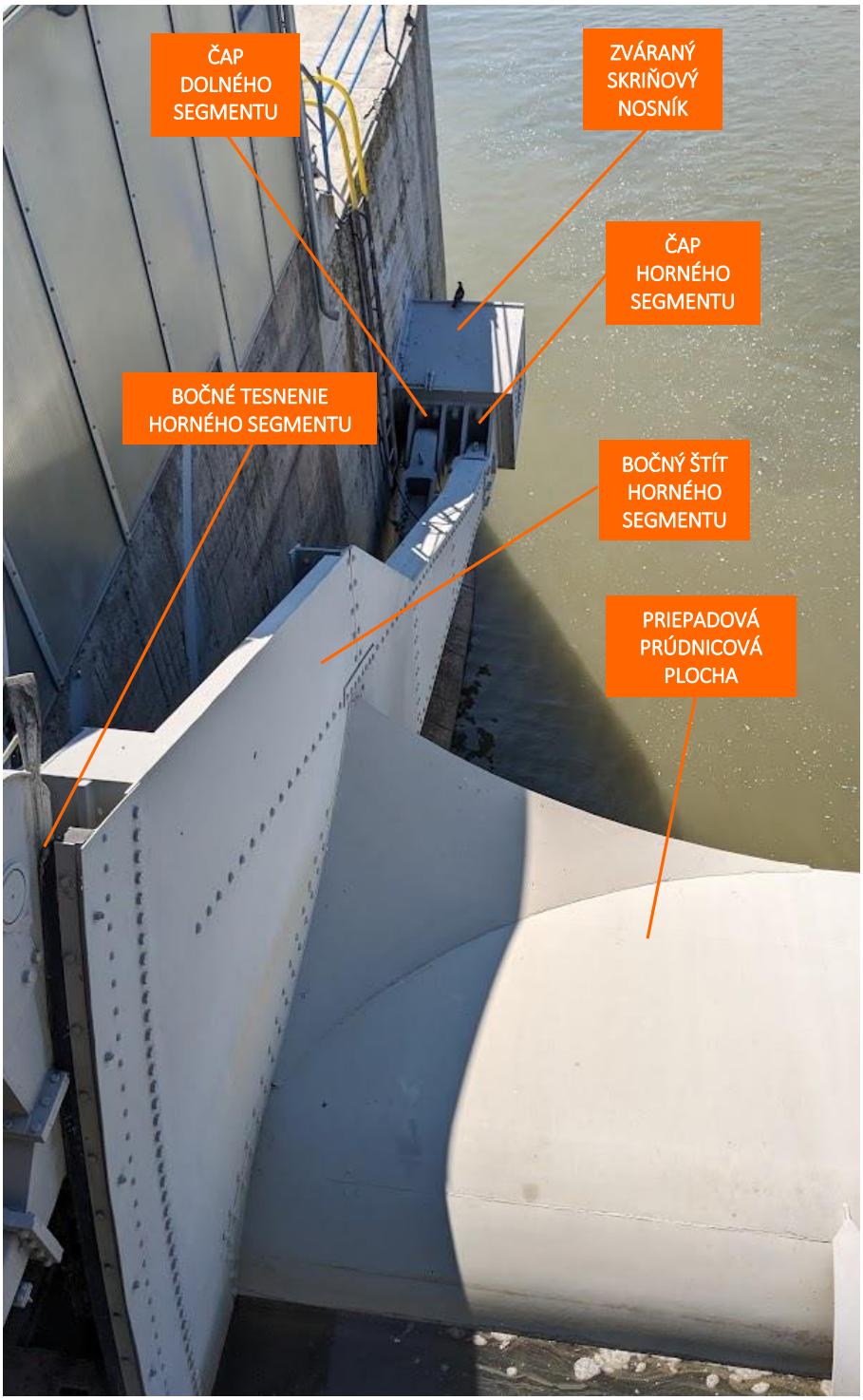
Vodorovné tesnenie medzi oboma segmentami je podobne, ako v prípade dvojitých stavidiel, možné realizovať pomocou gumenej hadice, ktoré sa v dobe, keď sa segmenty nepohybujú, nahustí stlačeným vzduchom.

Bočné tesnenie segmentov sa navrhuje z profilovej gumy tak, aby tesnilo v každej polohe segmentu. Na piliere sú v rozsahu styku bočného tesnenia dolného segmentu a piliera pripojené *bočné oceľové plechy*. Bočný štít dolného segmentu je vyvedený až nad hladinu hornej vody. Na bočný štít dolného segmentu je potom dotesnené bočné tesnenie horného segmentu (Obr. 8.95).

S dvojitým segmentom sa *manipuluje* tak, že sa najprv spúšťa dolný segment. Keď dosiahne najnižšiu polohu začnú sa zdvíhať súčasne obidva segmenty. Je však možné manipulovať aj tak, že sa súčasne spúšťa horný a zdvíha dolný segment, čím sa vzájomne zráža prepadový a výtokový lúč, čo účinnejšie tlmí ich pohybovú energiu. Jednotlivé segmenty sa otáčajú okolo čapov a môžu sa, pomocou samostatných ovládaní, nezávisle od seba zdvíhať a spúšťať.

Ovládanie dvojitého segmentu je nezávislé pre horný a dolný segment. Segmenty sú väčšinou obojstranne zavesené na Gallovej reťazi a každý segment má svoj vlastný pohybovací mechanizmus. Závesné body segmentov sú umiestnené na ramenách segmentov, ktoré majú

ložiská a čapy umiestnené spoločne na jednej pilierovej konzole (Obr. 8.95), alebo v ústupku haťového piliera.

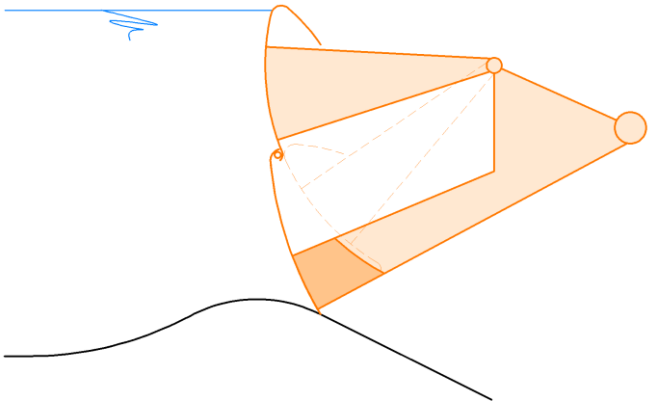


Obr. 8.95 Obojstranne mechanicky ovládaný dvojitý hákový segment s tlačenými ramenami s hradiacou výškou 7,5 m a šírkou 16 m na hati Vodného diela Drahovce na Váhu (Zdroj: archív autora)

Dispozícia nosného systému dvojitých segmentov je limitovaná priestorovými obmedzeniami, vyplývajúcimi z toho, že pri úplnom spustení horného segmentu je tento zasunutý do priestoru nosného systému dolného segmentu.

Nosný systém dvojitých segmentov zodpovedá nosnému systému „klasického“ zdvižného segmentu (Kap. 8.4.1). Jeho dispozícia je však limitovaná priestorovými obmedzeniami, vyplývajúcimi z toho, že pri úplnom spustení horného segmentu je tento zasunutý do priestoru nosného systému dolného segmentu.

V porovnaní segmentu s nasadenou klapkou, ktorej regulačná schopnosť je 30 až 35 %, majú síce dvojité segmenty iba o málo väčšiu schopnosť regulácie (možnosť spustenia horného segmentu predstavuje 30 až 40 % z celkovej hradiacej výšky), ale môžu hradiť väčšie výšky (viac ako 10 m). Zvýšenie schopnosti regulácie je možné uložením otočných čapov horného segmentu na ramená dolného segmentu. Polomer horného segmentu je menší ako pri dolnom segmente a je ho možné úplne zasunúť za dolný segment (Obr. 8.96).



Obr. 8.96 Dvojitý segment s ramenami horného segmentu umiestnenými na ramenách dolného segmentu – regulačná schopnosť cca 50 %

Kontrolné otázky

Na základe akých kritérií delíme segmentové uzávery?

Aké sú základné prvky nosného systému segmentových uzáverov a akým spôsobom je prenášané zaťaženie?

Aké sú základné typy nosných systémov segmentových uzáverov?

Ako sa ovládajú segmentové uzávery?

Akým spôsobom sa chránia ramená segmentových uzáverov?

Aké sú základné princípy pri návrhu haťových pilierov segmentových uzáverov?

Aký je vplyv uchytenia segmentu (závesného bodu) na výšku haťového piliera?

Ako sa delia zdvižné segmenty?

Aké sú výhody a nevýhody zdvižných segmentov?

Aký je princíp manipulácie so zdvižným segmentom?

Pohyblivé hradiace uzávery

Ako sa tesnia zdvižné segmenty?

Ako sa delia spustné segmenty?

Aké sú výhody a nevýhody spustných segmentov?

Aký je princíp manipulácie so spustným segmentom?

Ako sa tesnia spustné segmenty?

Aké sú výhody a nevýhody segmentu s nasadenou klapkou?

Aké je princíp manipulácie so segmentom s nasadenou klapkou?

Ako sa tesnia segmenty s nasadenou klapkou?

Aké sú výhody a nevýhody dvojitého segmentu v porovnaní so segmentom s nasadenou klapkou?

Ako sa delia dvojité segmenty?

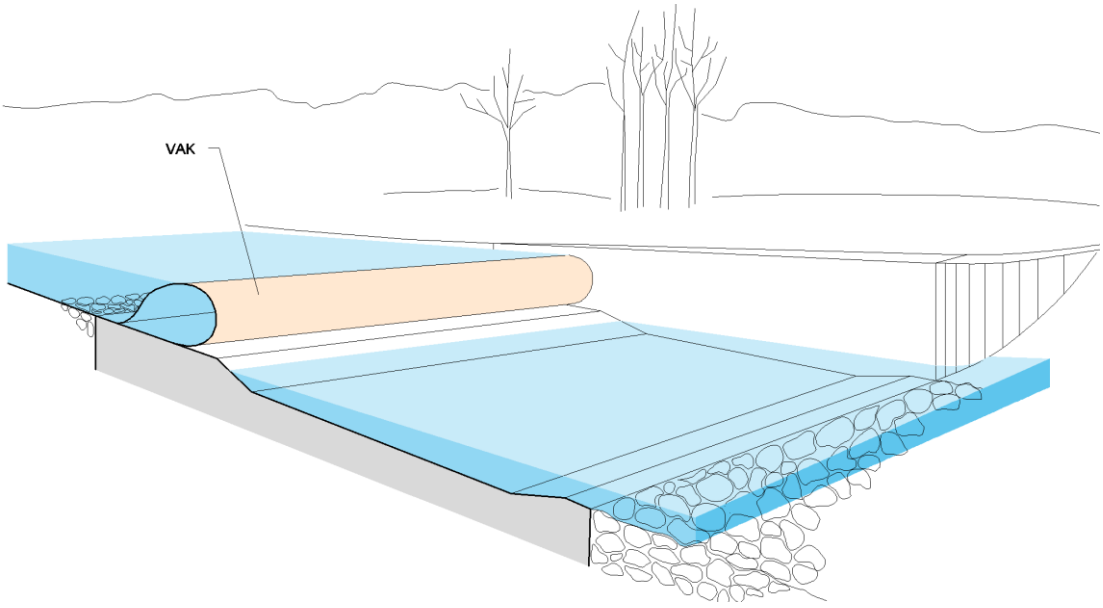
Aký je princíp manipulácie s dvojitým segmentom?

Ako sa tesnia dvojité segmenty?

8.5 Vakové uzávery

Nosný systém hradiaceho vaku je tvorený membránou (gumotextília hrúbky 8 až 25 mm) naplnenou vodou (Obr. 8.97) a pevne zafixovanou k spodnej betónovej stavbe a k šikmým (Obr. 8.98), resp. zvislým haťovým pilierom (Obr. 8.100) pomocou oceľového kotvenia a kotviacich skrutiek (Obr. 8.103). Pri súčasných technológiách, ktoré umožňujú vyrábať membránu ako homogénny celok bez spojovacích pásov, je možné vakové hate navrhovať pre veľké svetlosti haťových polí a pre hradiace výšky až do 5,0 m (Obr. 8.101).

Pri súčasných technológiách, ktoré umožňujú vyrábať membránu ako homogénny celok bez spojovacích pásov, je možné vakové hate navrhovať pre veľké svetlosti haťových polí a pre hradiace výšky až do 5,0 m.



Obr. 8.97 Vaková hať

Množstvo vody prepadajúcej cez vak je regulované výškou vaku, ktorá závisí od množstva vody, ktorá sa vo vaku nachádza. Funkcia vaku je založená na princípe spojitých nádob, pri ktorých sa vytvorí rovnováha medzi vonkajším tlakom na vak a vnútorným pretlakom vody vo vaku. Pretlak sa (pre malé hradiace výšky do cca 3 m) volí cca 10 % hradiacej výšky. Pre väčšie hradiace výšky je to 30 až 50 % hradiacej výšky.

Ovládanie vaku je zabezpečené čerpadlom, ktoré reguluje pretlak vody vo vaku. Čerpadlo je riadené automaticky pomocou hladinových spínačov. Vak je prepojený potrubným systémov s manipulačnou komorou, umiestnenou na brehu, rozdelenou zvislou deliacou stenou na dve časti (Obr. 8.102). Časť I. je priamo plniacim potrubím spojená s hornou zdržou, takže je tu hladina totožná s hladinou nad haťou. Ak hladina v komore (v časti I.) klesá, tak sa spustí čerpadlo, ktoré prečerpá vodu do pretlakovej nádoby a vak sa začne cez spojovacie potrubie plniť vodou (výška vaku sa zväčšuje). Ak hladina v komore (v časti I.) stúpa, automaticky sa otvorí uzáver spojovacieho potrubia. Voda sa z vaku začne vypúšťať do komory (do časti II.), výška vaku sa zmenšuje, a následne je cez prázdniace potrubie vypúšťaná do dolnej vody.

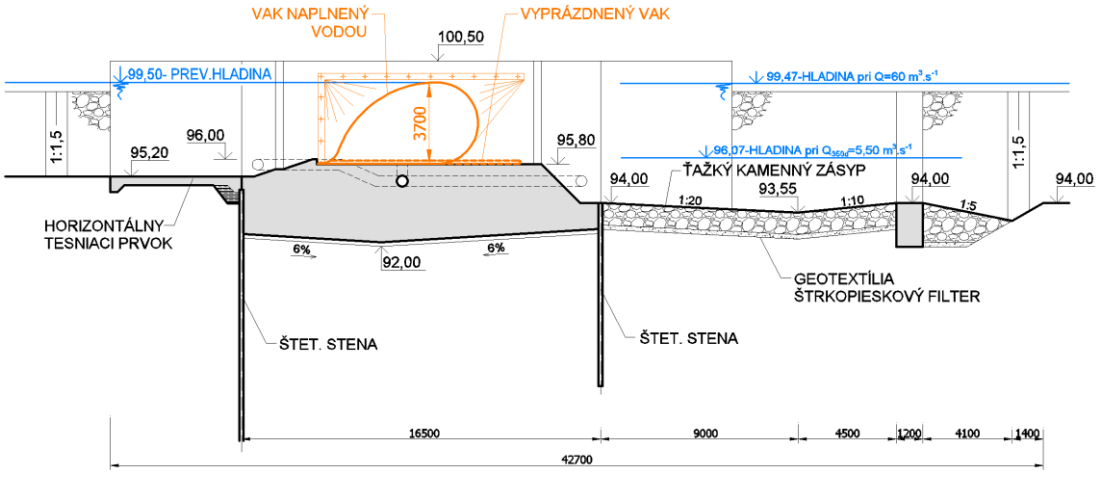
Zo stavebného hľadiska je výhodou vakových hatí nenáročná spodná stavba hate. Dĺžka betónovej dosky závisí od dĺžky obvodu vaku. Vyprázdnený vak musí byť podopretý betónovou doskou po celej dĺžke (Obr. 8.99). Za vakovým uzáverom nie je vhodné navrhovať vývar,

Za vakovým uzáverom nie je vhodné navrhovať vývar, pretože v spätnom valci dochádza k dlhodobému pohybu plávajúcich predmetov, ktoré môžu vak poškodiť.

pretože v spätnom valci dochádza k dlhodobému pohybu plávajúcich predmetov, ktoré môžu vak poškodiť. Podhatie vakových hatí je vhodné riešiť napr. ako balvanitý sklz. Výhodou vakových uzáverov je aj ich relatívne jednoduchá montáž. Proti vzniku vibrácií pri prepade vody sa navrhujú na vaku navulkanizované rozrážače (Obr. 8.100).

Nevýhodou vakových uzáverov je ich pomerne krátka životnosť cca 10 rokov (oceľové uzávery majú životnosť 40 až 50 rokov).

Obr. 8.98 Vakový uzáver prikotvený k spodnej stavbe a k šikmým brehovým pilierom s hradiacou výškou 3,0 m a šírkou 25,0 m – hať Filipovo na rieke Hron (Zdroj: rieky.sk, © Matej Mikluš)

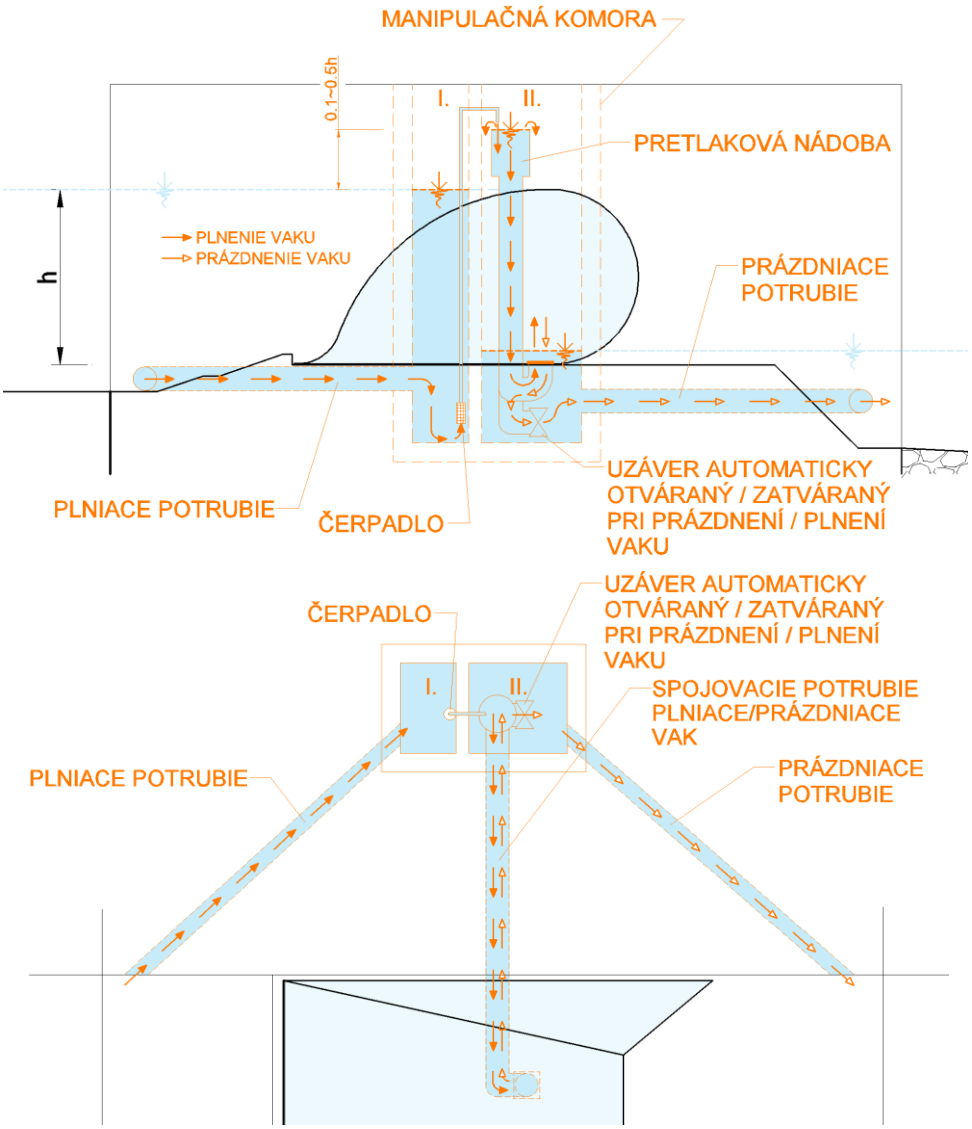


Obr. 8.99 Návrh vakového uzáveru v obdĺžnikovom profile na plánovanej hati Veľké Kapušany na rieke Latorica

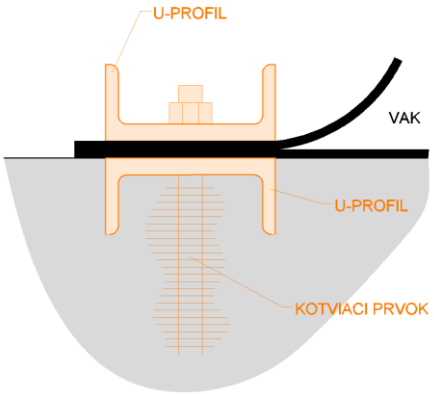
Nevýhodou vakových uzáverov je ich pomerne krátka životnosť.

Obr. 8.100 Vakový uzáver prikotvený k zvislým brehovým pilierom s hradiacou výškou 4,5 m (Zdroj: rubena.eu)

Obr. 8.101 Prepad vody cez vakový uzáver s hradiacou výškou 4,3 m a šírkou 50 m na hati Casale Monferrato na rieke Pád, Taliansko (Zdroj: hydroconstuct.at)



Obr. 8.102 Schéma ovládania vakového uzáveru



Obr. 8.103 Príklad upevnenia vaku na spodnú stavbu hate a na haťové piliere

Kontrolné otázky

Čo tvorí nosný systém vakových uzáverov?

Aký je princíp manipulácie s vakovým uzáverom?

Aký je princíp ovládania vakových uzáverov?

Aké sú výhody a nevýhody vakových uzáverov?

Akým spôsobom je upevnený vakový uzáver na spodnú stavbu hate?

9 Provizórne hradenia

9.1 Účel, funkcia a typy provizórnych hradení

Manipulačný priestor medzi hlavným uzáverom a provizórnym uzáverom musí byť minimálne 1,2 m. Väčšia vzdialenosť vedie k zbytočnému predlžovaniu pilierov.

Provizórne hradenia sa používajú na dočasné zahradenie poľa pohyblivého uzáveru, aby bolo možné bez zníženia vzdutej hladiny, realizovať revíziu, údržbu prípadne opravu poškodeného uzáveru, resp. opravu spodnej stavby a príslušných armatúr.

Osadzuje sa medzi haťové piliere pred pohyblivý uzáver do hornej vody, tzv. horné provizórne hradenie. V prípade, že hladina dolnej vody siaha nad korunu priepadu a pre potreby opravy vývaru sa osadzuje provizórne hradenie aj zo strany dolnej vody, tzv. dolné provizórne hradenie. Priestor medzi provizórnym hradením a pohyblivým uzáverom sa následne vyčerpá. Manipulačný priestor medzi hlavným uzáverom a provizórnym uzáverom musí byť minimálne $1{,}2$ m (optimálne 3 m). Väčšia vzdialenosť vedie k zbytočnému predlžovaniu pilierov. Prevýšenie provizórneho hradenia nad hornú, resp. dolnú hladinu sa navrhuje $0{,}2$ až $0{,}5$ m.

Provizórne hradenie musí byť vodotesné, konštrukčne jednoduché a ľahko osadzovateľné. Obyčajne sa zahradzuje len jedno haťové pole. Preto sa pre pohyblivú hať s viacerými poľami rovnakého rozmeru dodáva iba jedno (jedna sada) horného, resp. aj jedno (jedna sada) dolného provizórneho hradenia. Vzhľadom na to, že haťové pole zahradené provizórnym hradením nemôže prepúšťať žiadny prietok, malo by sa provizórne hradenie osadzovať v období nižších prietokov.

Provizórne hradenia je možné rozdeliť podľa:

- spôsobu osadzovania na:
  - **osadzované z priestoru mimo vody**, a to:
    - ručne,
    - pomocou žeriavov.
  - **priplavované**.
- typu konštrukcie na:
  - **hradidlové**,
  - **hradlové**,
  - **celistvé**.

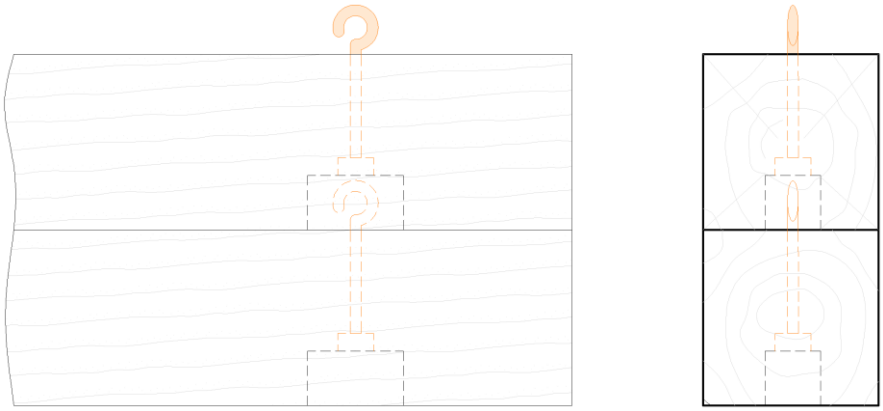
9.2 Hradidlové provizórne hradenie

Hradidlové provizórne hradenia sú najrozšírenejším typom provizórnych hradení haťových polí, ale aj iných prietočných otvorov vodných diel. Z konštrukčného hľadiska sa jedná o vodorovné trámy, ktoré sa ukladajú na seba do zvislých drážok v haťových pilieroch (Obr. 9.3, Obr. 9.4), alebo sa opierajú o ústupky v pilieroch (Obr. 9.8).

Pre malé hradiace výšky do cca 3 m a pre malé svetlé šírky haťových polí cca 4 až 6 m sa používajú drevené hradidlá (trámy), opatrené na obidvoch koncoch kovaním s okami

Pri použití plávajúceho žeriavu alebo priplavovaných hradidiel je možné ušetriť náklady na premostenie hate.

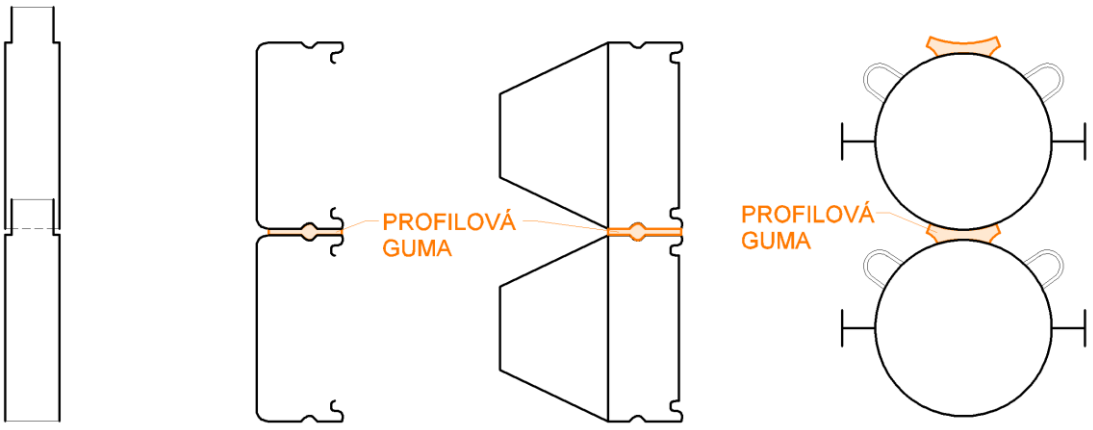
pre zachytenie háku (Obr. 9.1), ktorý slúži na manipuláciu s hradidlom pri jeho osadzovaní a vyhradzovaní. Aby odsadené hradidlá nevyplávali, priväzujú sa ku kotviacim blokom na bokoch pilierov. Osadzujú sa obyčajne ručne.



Obr. 9.1 Príklad dreveného hradidlového provizórneho hradenia

Pre hradiace výšky nad 3 m a pre svetlé šírky haťových polí cca 10 m sa navrhujú kovové hradidlá rôznych tvarov, medzi ktorými je umiestnené *vodorovné tesnenie z profilovej gumy* (Obr. 9.2). Po osadení všetkých hradidiel sú hradlá, za účelom zvýšenia tesnosti spojov, dotlačené doťahovacou skrutkou (Obr. 9.3). Hradidlá sa osadzujú obyčajne pomocou *menších prenosných žeriavov*. Pri použití plávajúceho žeriavu alebo priplavovaných kovových hradidiel je možné ušetriť náklady na premostenie hate.

Priplavované hradidlové provizórne hradenie je tvorené hradidlami vytvorenými z dutých uzavretých nosníkov, ktoré sa priplavujú do drážok alebo na ústupky pilierov (Obr. 9.4). Do hradiacej polohy sa osadzujú naplnením vodou. Pri vyhradzovaní je možné použiť stlačený vzduch, ktorým sa voda z dutého prierezu vytlačí.



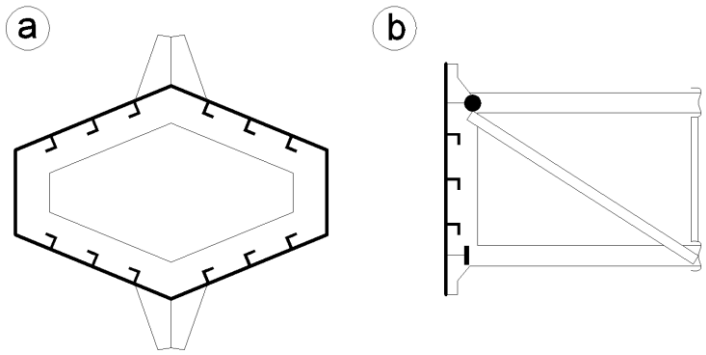
Obr. 9.2 Príklady kovových hradidlových provizórnych hradení

Obr. 9.3 Hliníkové hradidlové provizórne hradenie (Zdroj: mvprojekt.cz)

Obr. 9.4 Kovové (oceľové) priplavované hradidlové provizórne hradenie (Zdroj: rvccr.cz)

V prípade malých hradiacich výšok a veľkých svetlých šírok hradiacich polí sa môžu použiť aj po šírke členené hradidlá.

Pre veľké svetlosti hať ových polí (20 až 30 m) sa navrhujú oceľové hradidlá z dutých uzavretých (Obr. 9.5a) alebo plnostenných priehradových nosníkov (Obr. 9.5b, Obr. 9.6) alebo. Nosníky sú obyčajne na koncoch zúžené, aby sa zmenšila šírka drážky piliera. Osadzujú sa obyčajne pomocou *veľkých portálových žeriavov* (Obr. 8.33, Obr. 8.94).



Obr. 9.5 Príklady oceľových hradidlových provizórnych hradení: a – dutý, b – priehradový nosník

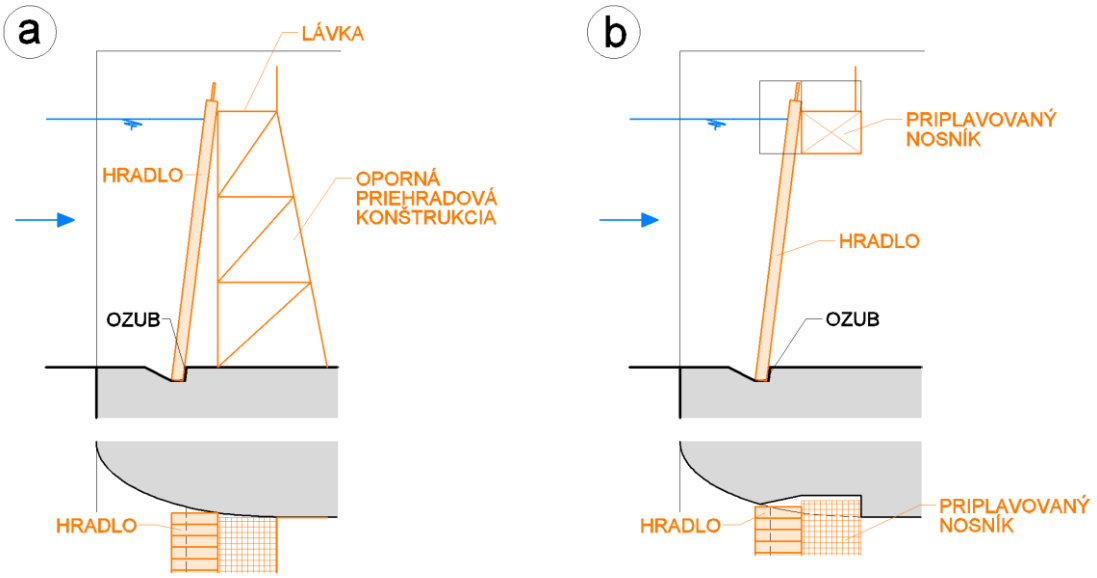
Obr. 9.6 Jedno zo štyroch oceľových hradidiel z priehradového nosníka pre provizórne hradenie hať ových polí na hati Vodného diela Drahovce (Zdroj: archív autora)

V prípade malých hradiacich výšok a veľkých svetlých šírok hradiacich polí sa môžu použiť aj *po šírke členené hradidlá*. Drevené alebo kovové hradidlá sa obyčajne zasúvajú medzi oceľové I profily, ktoré sú zasunuté do zvislých otvorov v spodnej stavbe hate (v zmysle Obr. 8.3). Ich vzájomná vzdialenosť sa volí s ohľadom na zaťaženie cca 2 až 3 m. Na rozdiel od klasického hradidlového provizórneho hradenia sa v tomto prípade zaťaženie neprenáša do pilierov, ale do spodnej stavby hate. S výhodou sa používa zo strany dolnej vody, kde býva hradená výška menšia.

9.3 Hradlové provizórne hradenie

Pre veľké svetlé šírky haťových polí (cca 40 až 50 m) a hradiace výšky do 5,0 m sa dobre uplatňujú ***hradlové provizórne hradenie***. Hradlá sú drevené, resp. z tenkostenných uzavretých oceľových prierezov vytvorené trámy, ktoré sa *ručne* ukladajú vo vertikálnom smere tesne vedľa seba v sklone 8 : 1 až 10 : 1. Hradlá sa dolnými koncami opierajú o ozub v spodnej stavbe hate. Horným koncom sa hradlá opierajú:

- o lávku podopretú stĺpovými opornými priehradovými konštrukciami vzdialenými od seba 3 až 5 m (Obr. 9.7a, Obr. 8.21). Oporné konštrukcie sa za pomoci potápačov pripoja k úchytom ukotveným v spodnej stavbe hate.
- o dutý uzavretý priplavovaný nosník (Obr. 9.7b), ktorý sa buď vhodnou manipuláciou s hladinou, alebo pomocou žeriavov osadí do drážky v pilieri. Nosník je možné použiť do svetlosti haťového poľa cca 25 m.



Obr. 9.7 Schémy hradlových provizórnych hradení

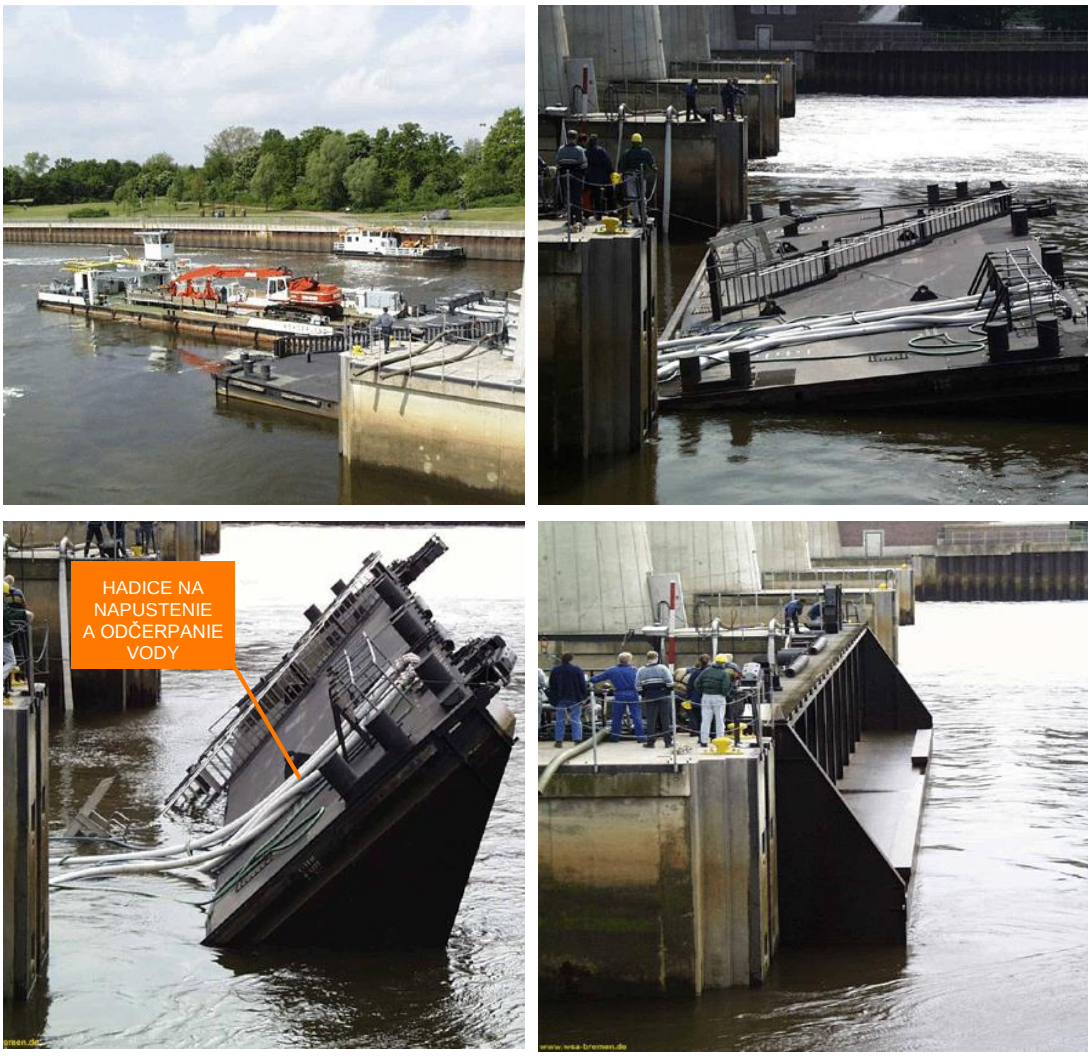
9.4 Celistvé provizórne hradenie

Nevýhodou celistvých priplavovaných provizórnych hradení sú ťažkosti súvisiace s jeho uskladnením v čase mimo prevádzku.

Celistvé provizórne hradenia sú hradenia, ktoré hradia celý otvor haťového poľa ako jeden celok. Celistvé provizórne hradenia väčších rozmerov, ktoré by boli osadzované z priestoru mimo vody, sa vzhľadom na pomerne náročnú manipuláciu s nimi (veľká hmotnosť), navrhujú veľmi zriedkavo. Ako celistvé sa obyčajne navrhujú priplavované hradenia, napr. v tvare plochých *pontónov* (Obr. 9.8). Pontónové hradenie je dopravené k haťovému poľu pomocou manipulačného plavidla. Následne sa postupným napúšťaním vody osadí do drážok, resp. na ústupky piliera, na ktoré je dotláčané hydrostatickým tlakom vody. Vo fáze vyhradzovania sa pomocou stlačeného vzduchu voda vytlačí z hradenia.

Výhodou je úspora práce pri osadzovaní, v porovnaní s osadzovaním členených hradidlových, resp. hradlových hradení. Výhodou je aj jeho väčšia vodotesnosť.

Nevýhodou sú ťažkosti súvisiace s jeho uskladnením v čase mimo prevádzky. Pre uskladnenie v suchu je potrebné zriadiť zvláštnu vyplavovaciu komoru pri brehu zdrže, z ktorej je možné vyčerpať vodu.



Obr. 9.8 Fázy priplavovania celistvého provizórneho hradenia opretého o ústupky v pilieri

Kontrolné otázky

Aký je účel provizórneho hradenia?

Aký sú základné princípy pri navrhovaní provizórneho hradenia?

Ako delíme provizórne hradenia?

Z akého materiálu sa vyrábajú hradidlové provizórne hradenia?

Ako sú konštrukčne riešené hradlové provizórne hradenia?

Aké sú výhody a nevýhody celistvých priplavovaných hradení?

10 Postup výstavby hate

Jedným z kritérií pre umiestnenie hate (Kap. 3.3) je spôsob jej výstavby. O postupe výstavby pritom rozhodujú najmä:

- miestne pomery zakladania,
- koncepcia vodného diela,
- dispozičné riešenie objektov,
- nadväznosť výstavby jednotlivých objektov vodného diela,
- prístup na stavenisko technikou,
- možnosti umiestnenia zariadenia staveniska,
- hydrologické pomery.

S určitou mierou zjednodušenia by sa dalo povedať, že N-ročnosť návrhového prietoku (povodne) Q_n by nemala byť menšia ako predpokladaná doba výstavby hate n (v rokoch).

10.1 Návrhový prietok pre zariadenie staveniska

Pri výstavbe hate, resp. vodného diela je nutné počítať s tým, že výstavba môže trvať dlhé obdobie (aj niekoľko rokov). V tejto dobe bude nutné prepúšťať okolo staveniska prietok, ľadové kryhy a v prípade splavných tokov aj plavidlá.

Návrhový prietok pre zariadenie staveniska je prietok, na ktorý sa navrhuje ochrana staveniska hate, resp. vodného diela.

Do úvahy sa pritom berie aj:

- *splaveninový režim toku*, a to najmä v súvislosti s tvorbou výmoľov v mieste zúženia koryta, čo môže ohroziť stabilitu ohrádzok staveniska (Kap. 10.5), ale aj v súvislosti so zanášaním koryta a znížením pôvodnej kapacity koryta v úseku výstavby,
- *obdobie mrazov a vytváranie ľadových bariér pri ľadochode* najmä v prípade, že je vodný tok v mieste staveniska zúžený.

Doba výstavby hate je priamo zviazaná s veľkosťou povodňového prietoku, na ktorú bude stavba chránená. Je preto žiadúce skrátiť dobu výstavby na minimum, prípadne naplánovať rozhodujúce práce v období nízkych prietokov.

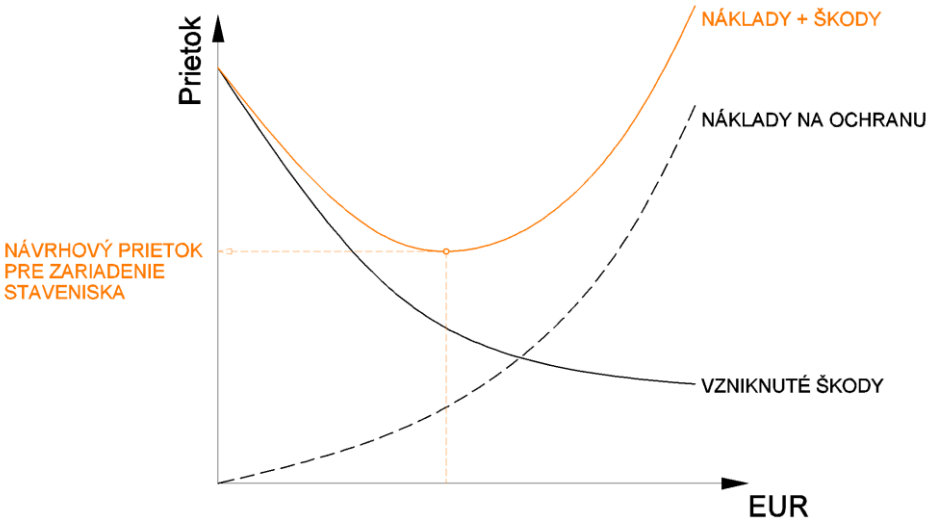
Ochrana staveniska proti katastrofálnym povodniam s malou pravdepodobnosťou, by však neúmerne zvyšovala náklady na stavbu hate. Návrhový prietok pre zariadenie staveniska preto zodpovedá menším povodniam úmerným dobe výstavby a veľkosti toku. V prípade veľkých hatí na veľkých tokoch to býva obyčajne Q_{10} až Q_{20}. V prípade menších hatí na malých tokoch, kde je doba výstavby kratšia, je možné „riskovať viac“, a uvažovať s Q_2 až Q_5. S určitou mierou zjednodušenia by sa dalo povedať, že N-ročnosť návrhového prietoku (povodne) Q_n by nemala byť menšia ako predpokladaná doba výstavby hate (v rokoch).

Veľkosť návrhového prietoku pre zariadenie staveniska je možné stanoviť aj na základe *ekonomického zhodnotenia rozsahu potenciálnych škôd pri zatopení staveniska a nákladov na ochranu staveniska proti zatopeniu*. Pri riešení tejto úlohy sa stanoví závislosť vzniknutých škôd od veľkosti prietoku a závislosť nákladov na ochranu staveniska od veľkosti prietoku (Obr.

10.1). Stanovením minima súčtových čiar oboch závislostí je možné stanoviť najefektívnejšiu hodnotu návrhového prietoku pre zariadenie staveniska.

Podľa spôsobu prevedenia vody počas výstavby rozlišujeme:

- výstavbu v priepichu,
- výstavbu v koryte s bočným odvedením vody obtokom,
- výstavbu v koryte s prevedením vody žľabom alebo potrubím,
- etapovú výstavbu hate v koryte po častiach.



Obr. 10.1 Stanovenie návrhového prietoku pre zariadenie staveniska

10.2 Výstavba v priepichu

V prípade, že to podmienky výstavby umožňujú, je vhodné umiestniť stavenisko mimo koryta v otvorenej stavebnej jame „na suchu“, z ktorej sa čerpá iba podzemná voda, a ktorú je možné jednoducho chrániť pred rozliatou veľkou vodou okružnou hrádzou.

Prítok podzemnej vody do stavebnej jamy je možné zmenšiť podzemnými alebo štetovnicovými stenami okolo stavebnej jamy, ktoré súčasne slúžia ako paženie stavebnej jamy a zároveň slúžia ako stratené debnenie pre betonáž spodnej stavby hate (Obr. 10.2). Časť štetovnicovej steny sa po výstavbe hate odstráni, časť zostáva súčasťou konštrukcie ako zvislé protipriesakové prvky, resp. napr. ako súčasť brehových pilierov.

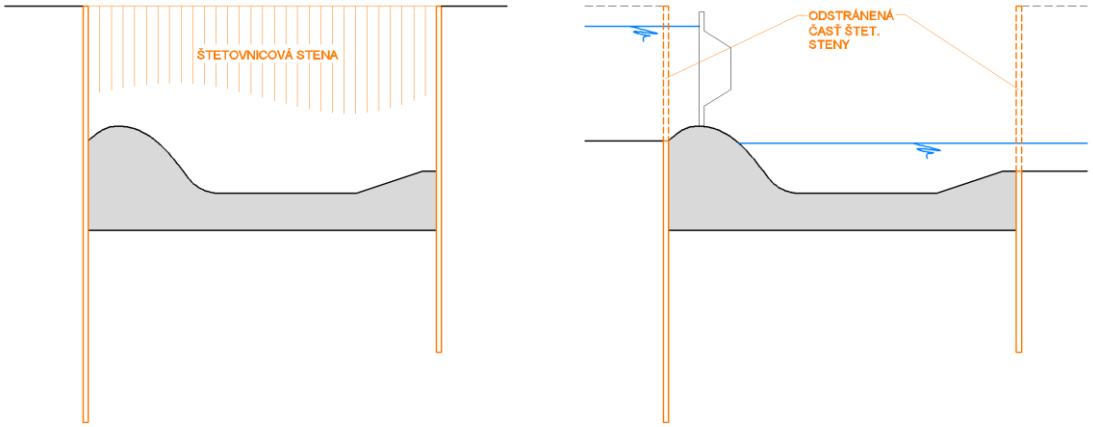
Po dokončení *1. fázy výstavby* hate (t. j. dokončení výstavby v suchej stavebnej jame) sa v *2. fáze* vytvorí prepojenie hate s pôvodným korytom (priepich) po aj proti vode vrátane brehového opevnenia. V poslednej fázy sa (pri nízkych prietokoch) dokončí priepich do dolnej a hornej vody a následne sa hrádzou uzavrie pôvodné koryto (Obr. 10.3). Samotné uzavretie pôvodného koryta sa realizuje pri menších prietokoch nasypávaním hrádze od brehu tak dlho, pokiaľ v ostávajúcej zúženej časti pôvodného toku nestúpne rýchlosť vody tak, že sa začne sypaný materiál odplavovať. Potom už nie je možné prietočný profil ďalej zužovať, ale už iba zvyšovať dno koryta zahádzkou z veľkých kameňov alebo betónových blokov. Keď povrch priepustnej zahádzky vystúpi nad hladinu, utesňuje sa prisýpaním štrku, piesku a hliny

na návodný svah. Takýto postup výstavby sa s výhodou používa na meandrujúcich tokoch s ostrými oblúkmi.

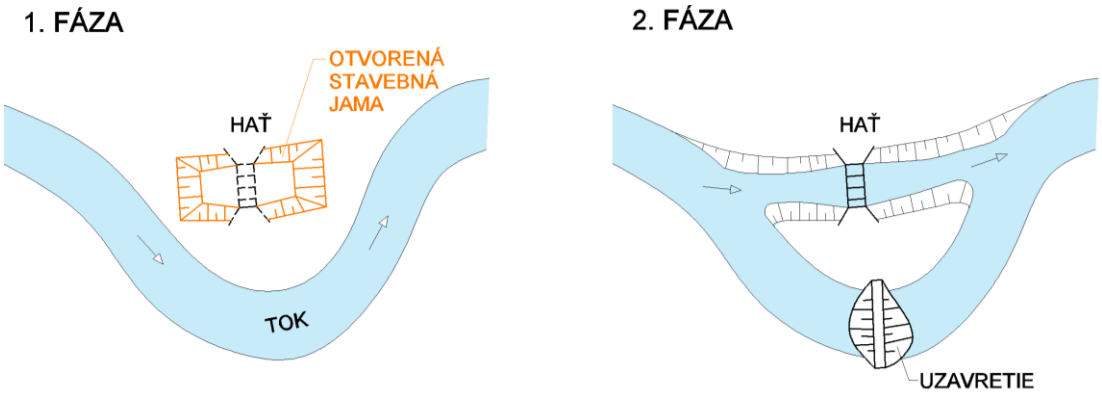
Výhodou výstavby hate v priepichu (t. j. v suchej stavebnej jame) je, že:

- pôvodné koryto nie je počas výstavby nijako zasiahnuté,
- stavenisko nie je priamo zasiahnuté prechodom veľkých vôd a ľadov,
- stavenisko je sústredené na jednom mieste,
- doprava materiálu je pomerne jednoduchá,
- doba výstavby je podstatne kratšia ako napr. pri etapovej výstavbe pomocou ohrádzovania (Kap. 10.5).

Z vyššie uvedených dôvodov sa preto vždy hľadá, ako prvá možnosť, výstavba v priepichu.



Obr. 10.2 Založenie spodnej stavby hate v suchej stavebnej jame tesnenej štetovnicovými stenami



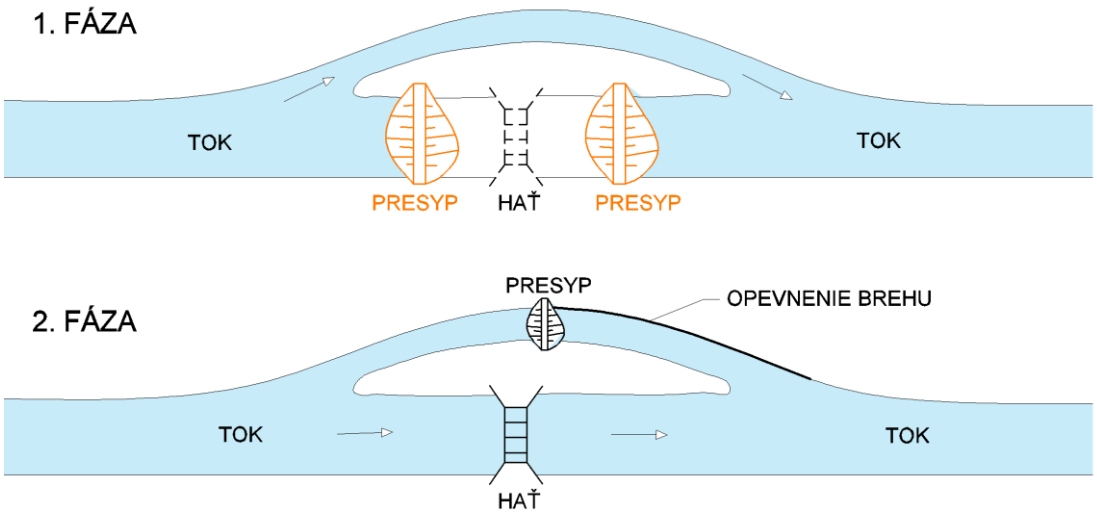
Obr. 10.3 Postup výstavby hate v krátkom priepichu

10.3 Výstavba v koryte s bočným odvedením vody obtokom

V prípade, že nie je možné výstavbu hate realizovať v priepichu (Kap. 10.2), je možné pôvodný tok dočasne preložiť do umelo vybagrovaného a opevneného bočného koryta – obtoku (Obr. *10.4*). Niekedy môže funkciu obtoku plniť aj staré opustené koryto, čím sa dosiahnu významné

úspory na zemných prácach. V oboch prípadoch je nutné, aby mal obtok kapacitu návrhového prietoku pre zariadenie staveniska (Kap. 10.1).

V *1. fáze výstavby* sa pôvodný tok uzavrie proti hornej aj dolnej vode hrádzami naprieč korytom. V *2. fáze* (t. j. po výstavbe hate) sa hrádze rozoberú a obtok sa uzavrie.

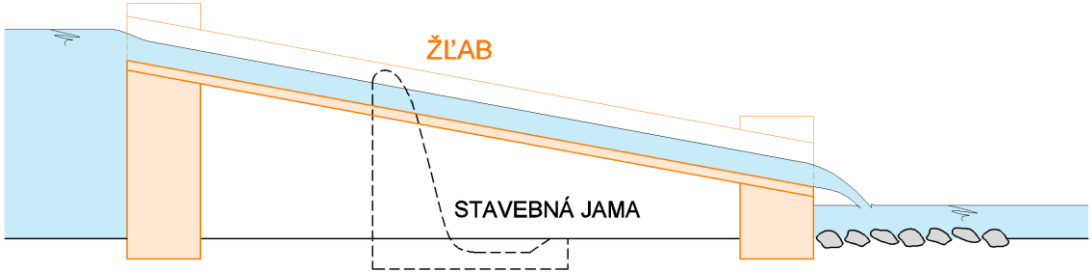


Obr. 10.4 Postup výstavby hate v koryte toku s dočasným odvedením prietoku obtokom

10.4 Výstavba v koryte s prevedením vody žľabom alebo potrubím

Pri výstavbe menších hatí na potokoch alebo menších riekach je možné uzavrieť stavebnú jamu hrádzami a celý prietok prevádzať počas výstavby žľabom alebo potrubím priamo cez stavenisko, resp. sa stavebná jama obchádza.

Napriek tomu, že žľab, resp. potrubie musí byť schopné previesť návrhový prietok pre zariadenie staveniska (Kap. 10.1), je jeho kapacita pomerne malá, pretože sa predpokladá, že všetky stavebné práce sa realizujú po prechode jarnej povodne v jednej stavebnej sezóne. Aby mal žľab, čo najmenšie rozmery, navrhuje sa v čo najväčšom sklone, s minimálnou drsnosťou (často býva oplechovaný) a s vhodným tlmením kinetickej energie vody vytekajúcej zo žľabu (Obr. 10.5).

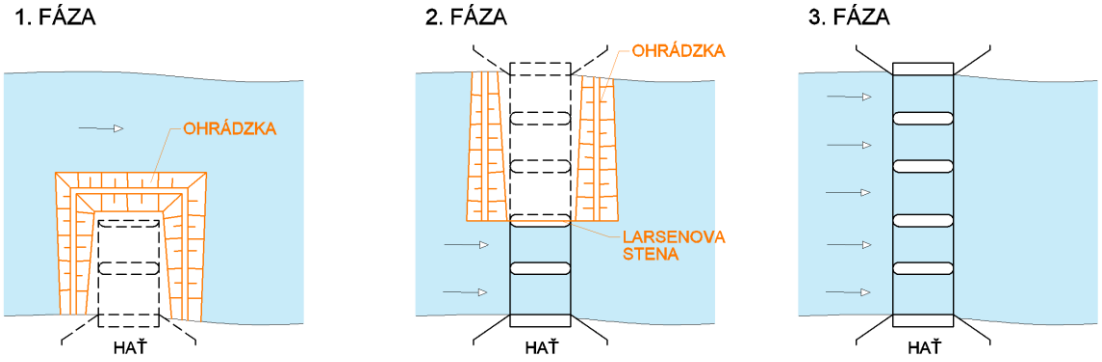


Obr. 10.5 Prevedenie vody ponad stavebnú jamu žľabom

10.5 Etapová výstavba v koryte po častiach

Zúženie vodného toku ohrádzkovaním spôsobí vzdutie hladiny, ktorého veľkosť má vplyv nie len na správny návrh výšky ohrádzkovania, ale aj na posúdenia vplyvu zúženia na priebeh proti prúdu vzdutej hladiny.

V prípade obmedzeného prístupu na územie mimo koryta (napr. intravilán miest) alebo na väčších tokoch sa pristupuje k rozdeleniu staveniska a hať sa buduje v pôvodnom koryte v niekoľkých etapách. Tento spôsob výstavby je zdĺhavý a pomerne nákladný a volí sa v prípade, že nie je žiadna iná možnosť. Z ekonomického hľadiska je najvýhodnejšia výstavba hate v dvoch ohrádzkach, tak že v *1. fáze* sa ohrádzkuje približne polovica šírky hate a v *2.fáze* sa ohrádzkuje zostávajúca časť hate a voda sa prevádza už dokončenou časťou hate (Obr. 10.6, Obr. 10.8 až Obr. 10.11).



Obr. 10.6 Postup výstavby hate v koryte po častiach v chránených stavebných jamách

Počas celej výstavby musí ostať z pôvodnej plochy koryta dostatočná prietočná plocha, ktorej veľkosť závisí od veľkosti návrhového prietoku pre zariadenie staveniska. Pri samotnom návrhu etapizácie výstavby je však nutné pomocou hydraulických výpočtov stanoviť, aké je najväčšie možné zúženie koryta vzhľadom na:

- veľkosť vzdutia spôsobeného ohrádzkovaním,
- rýchlosti prúdenia v okolí ohrádzky.

Zúženie vodného toku ohrádzkovaním spôsobí vzdutie hladiny, ktorého veľkosť má vplyv nie len na správny návrh výšky ohrádzkovania, ale aj na posúdenia vplyvu zúženia na priebeh proti prúdu vzdutej hladiny (krivka vzdutia – pozri Kap. 4.2).

Približne je možné hodnotu vzdutia spôsobeného zúžením prietočného profilu v zmysle Obr. *10.7* vypočítať zo vzťahu:

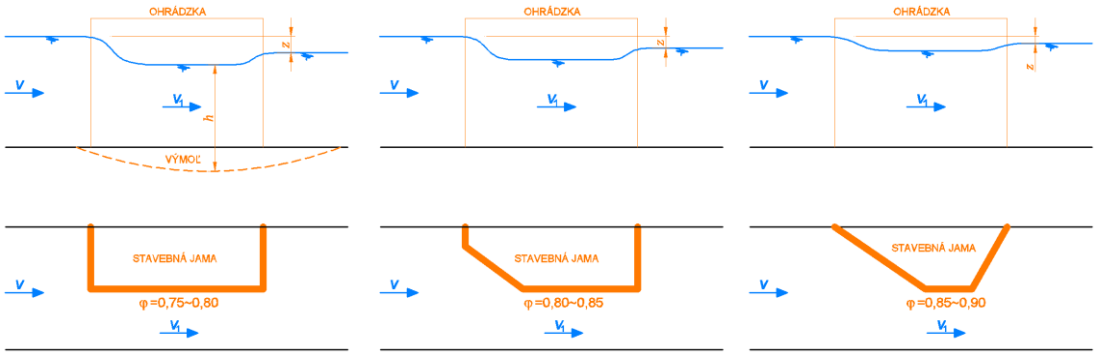
$$z = \frac{1}{\varphi^2}\frac{v_1^2 - v^2}{2g} \text{ [m]} \qquad (10.1)$$

kde:

v – je priemerná profilová rýchlosť v koryte nad ohrádzkou [m.s^{-1}],
v_1 – zvýšená rýchlosť vody v koryte v profile zúženia [m.s^{-1}],
φ – rýchlostný súčiniteľ závislý na pôdorysnom tvare ohrádzky (Obr. 10.7) a drsnosti jej stien [-],
g – gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}].

Znalosť hĺbky výmoľu je nutná pre správny návrh založenia ohrádzky.

Napriek tomu, že sa v súvislosti s vymieľaním dna vzdutie postupne zmenšuje (zväčšuje sa prietočný profil), pri návrhu ohrádzky je nutné počítať s najvyššou hodnotou, ktorá môže pri prechode návrhového prietoku pre zariadenie staveniska nastať.



Obr. 10.7 Vplyv pôdorysného tvaru ohrádzky na veľkosť vzdutia spôsobeného zúžením profilu

Znalosť hĺbky výmoľu je nutná pre správny návrh založenia ohrádzky. Približne je možné hĺbku výmoľu h v zmysle Obr. 10.7 vypočítať zo vzťahu:

$$h = \sqrt[1,2]{\frac{q}{v_{n1}}} \text{ [m]} \qquad (10.2)$$

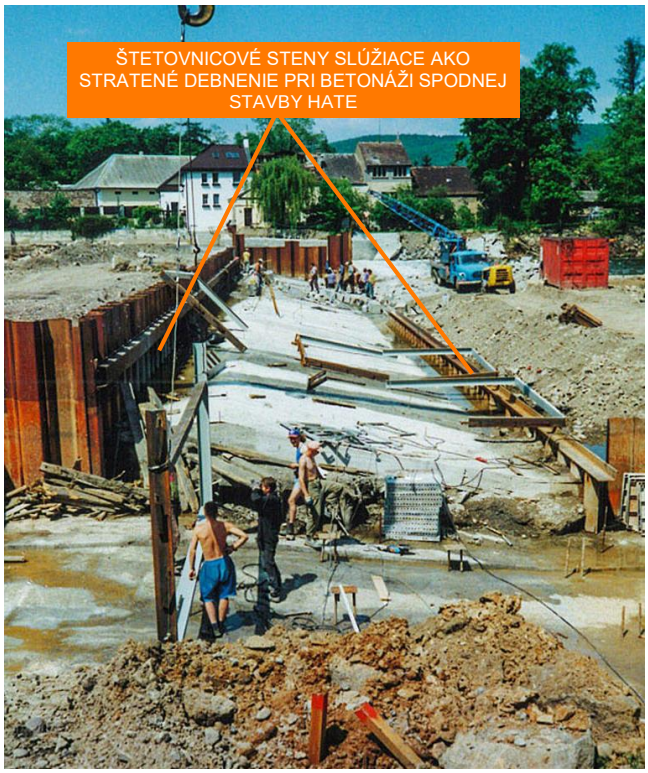
kde:

q – je špecifický prietok v profile vedľa ohrádzky bez uvažovania hĺbky výmoľu [$m^2.s^{-1}$],

v_{n1} – nevymieľacia rýchlosť zeminy dna koryta podľa Tab. 5.2, resp. Tab. 5.3 [$m.s^{-1}$].

Výpočet je nutné iterovať a postupne opravovať hodnotu špecifického prietoku q, vzhľadom na vypočítanú hĺbku výmoľu a tým zmenenej prietočnej ploche zúženého profilu.

Obr. 10.8 Hĺbenie stavebnej jamy ohrádzovanej štetovnicovými stenami – etapová výstavba pevnej hate Dobřichovice na rieka Berounka, ČR (Zdroj: zakladani.cz)



Obr. 10.9 Betonáž spodnej stavby hate – etapová výstavba pevnej hate Dobřichovice na Berounke, ČR (Zdroj: zakladani.cz)

Obr. 10.10 Etapová výstavba pevnej hate Dobřichovice na Berounke, ČR v stavebnej jame ohrádzovanej štetovnicovými stenami (Zdroj: zakladani.cz)

Obr. 10.11 Pevná hať Dobřichovice na rieke Berounka, ČR (Zdroj: foursquare.co, © Progressor)

Kontrolné otázky

Čo má vplyv na postup výstavby hate?

Ako sa stanoví návrhový prietok pre zariadenie staveniska?

Aké sú najznámejšie postupy výstavby hate, resp. vodného diela?

Aký je princíp výstavby hate v priepichu?

Aké výhody má výstavba hate v priepichu?

Aký je princíp výstavby hate v koryte s bočným odvedením vody obtokom?

Aký je princíp výstavby hate v koryte s prevedením vody žľabom alebo potrubím?

Aký je princíp etapovej výstavby hate v koryte po častiach?

Ako sa stanový najväčšie možné zúženie koryta pri etapovej výstavbe hate?

11 Použitá literatúra a zdroje

[1] BALCERSKI, W.: *Budowle wodne srodladowe*. Warszawa. Arkady 1969.

[2] BROŽA, V. a kol.: *Nádrže, jezy a přehrady*. SNTL, Praha. 1967.

[3] ČÁBELKA, J., KUNŠTÁTSKÝ, J.: Jezy. Praha. SNTL 1966.

[4] ČERTOUSOV, M. D.: *Gidravlika – specialnyj kurs*. Moskva – Leningrad, 1957.

[5] DOLEŽAL, L.: *Prepad cez nízku hať kruhového profilu. Práca a štúdie, zošit 128.* VÚV Praha 1971.

[6] DUŠIČKA, P. GABRIEL, P., HODÁK, T., ČIHÁK, F., ŠULEK, P.: *Malé vodní elektrárny*. Jaga group, Bratislava, 2003. ISBN 80-88905-45-1.

[7] GABRIEL, P., GRANTNER, T., PRUCHA, M., VÝBORA, P.: *Jezy*. SNTL/ALFA, Praha, 1989.

[8] GRANTNER, . T., FURDA, J., OBLOŽINSKÝ, P.: *Komplexný projekt HT*. Hate a vodné cesty. SVŠT Bratislava, 1990.

[9] GRANTNER, T., FURDA, J.: *Hate*. SVŠT, Bratislava, 1990. ISBN 80-227-0326-5.

[10] GRANTNER, T.: *Hate. Návrh pevnej a spodnej stavby pohyblivej hate*. SVŠT, Bratislava,. 1982.

[11] GRANTNER, T.: *Hate. Skriptá*. SVŠT Bratislava, 1983.

[12] HLINKA, R.: *Zásady navrhovanie a zaťaženia konštrukcií.* Žilinská univerzita v Žiline. Stavebná fakulta: https://svf.uniza.sk/kskm/subory/ZNZK/Zatazenie_stavebnych_konstrukcii.pdf

[13] HULLA, J., ŠIMEK, J., TURČEK, P.: *Mechanika zemín a zakladanie stavieb.* Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 1991. ISBN 80-05-00728-0.

[14] KALA, F.: *Výpočet délky vodního skoku v divergentním korytě*. Vodní hospodářství č.9, 1981.

[15] KNAPP, F.H.: *Ausfluss. Uberfall und Durfluss in Wasserbau*. Verlag G. Braun, Karsruhe 1960.

[16] KOLÁŘ, V., PATOČKA, C., BÉM, J.: Hydraulika. SNTL/ALFA, Praha, 1983.

[17] KVĚTON, R., ORFÁNUS, M.: *Hydroinformatika 1. časť: Simulácia procesov prúdenia povrchovej vody v otvorených korytách a cez vodohospodárske objekty*. SvF STU Bratislava, 2015, ISBN 978-80-227-4468-3.

[18] LACO, V.: *Výskum prepadu na nízkej hati. Práce a štúdie, zošit 23.* VÚVH Bratislava, 1964.

[19] MÄSIAR, E., KAMENSKÝ, J.: *Hydraulika pre stavebných inžinierov I*. ALFA, Bratislava, 1985. ISBN 80-05-00085-1.

[20] MÄSIAR, E., KAMENSKÝ, J.: *Hydraulika pre stavebných inžinierov II*. ALFA, Bratislava, 1989. ISBN 80-05-00085-1.

[21] MEDŘICKÝ, V., VALENTA, P.: *Hydrotechnické stavby: Navrhování jezů*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009.

[22] MOŽIEŠIK, Ľ., DUŠIČKA, P., ŠULEK, P.: *Hydrotechnické stavby*. STU, Bratislava, 2012. ISBN 978-80-227-3656-5.

[23] MOŽIEŠIK, Ľ.: *Rejdy plavených komôr na splavnených vodných tokoch*. STU Bratislava, 2012. ISBN 978-80-227-3847-7.

[24] NOVÁK, P: *Hydrotechnický výskum vývarov a výmoľov v podhatí*. Praha, VÚV 1956.

[25] PETERKA, A. J.: *Hydraulic Design of Stiiling Basin and Energy Dissipators*. Engineering monographs. No. 25, Denver. Colorado. 1958.

[26] RYBNÍKÁŘ, J.: Disipace energie povrchovým vodním skokem. Kandidátská dizertačná práca. VUT Brno. 1963.

[27] SKALIČKA, J.: *Výpočet prietoku cez hať pri vysokom stupni zatopenia dolnou vodou*. Vodní hospodářství č. 9, 1981.

[28] SZOLGAY, J., DZUBÁK, M., HLAVČOVÁ, K., KOHNOVÁ, S.: *Hydrológia, Odtokový proces a hydrológia povrchových vôd*. SvF STU Bratislava, 2004.

[29] ŠOLTÉSZ, A., BAROKOVÁ, D.: *Hydroinformatika* 2. časť: *Simulácia procesov prúdenia podzemnej vody v pórovitom prostredí.* SvF STU Bratislava, 2010, ISBN 978-80-227-3396-0.

[30] TARAJNOVIČ, I. I.: *O tolščine plity vodoboja*. Gidrotechničeskoje strojiteľstvo, 2, 1957.

[31] POLÁK, V. a kol.: *Určenie vhodných typov rybovodov podľa typológie vodných tokov. Metodické usmernenie MŽP SR.* VÚVH Bratislava, 2015.

[32] STN 75 0255: 1987 (CZ): Výpočet účinkov vĺn na stavby na vodných nádržiach a zdržiach.

[33] Metodický pokyn k posudzovaniu bezpečnosti priehrad a odkalísk počas povodňového zaťaženia v rámci technicko-bezpečnostného dohľadu, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 2020.

[34] Vyhláška 119/2016 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o výkone odborného technicko-bezpečnostného dohľadu nad vodnými stavbami a o výkone technicko-bezpečnostného dozoru. Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, 2016.

[35] STN 75 0120: 2004 (SK): Vodné hospodárstvo. Hydrotechnika. Terminológia.

[36] STN 73 6814: 1972 (CZ): Navrhovanie priehrad. Hlavné parametre a vybavenie.

doc. Ing. Peter Šulek, PhD.

HATE

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, Bratislava, Vazovova 5, v roku 2023.

Edícia skrípt

Rozsah 238 strán, 297 obrázkov, 20 tabuliek, 20,84 AH, 21,19 VH, 1. vydanie,
edičné číslo 6177, vydané v elektronickej forme.

85 – 239 – 2023

ISBN 978-80-227-5381-4