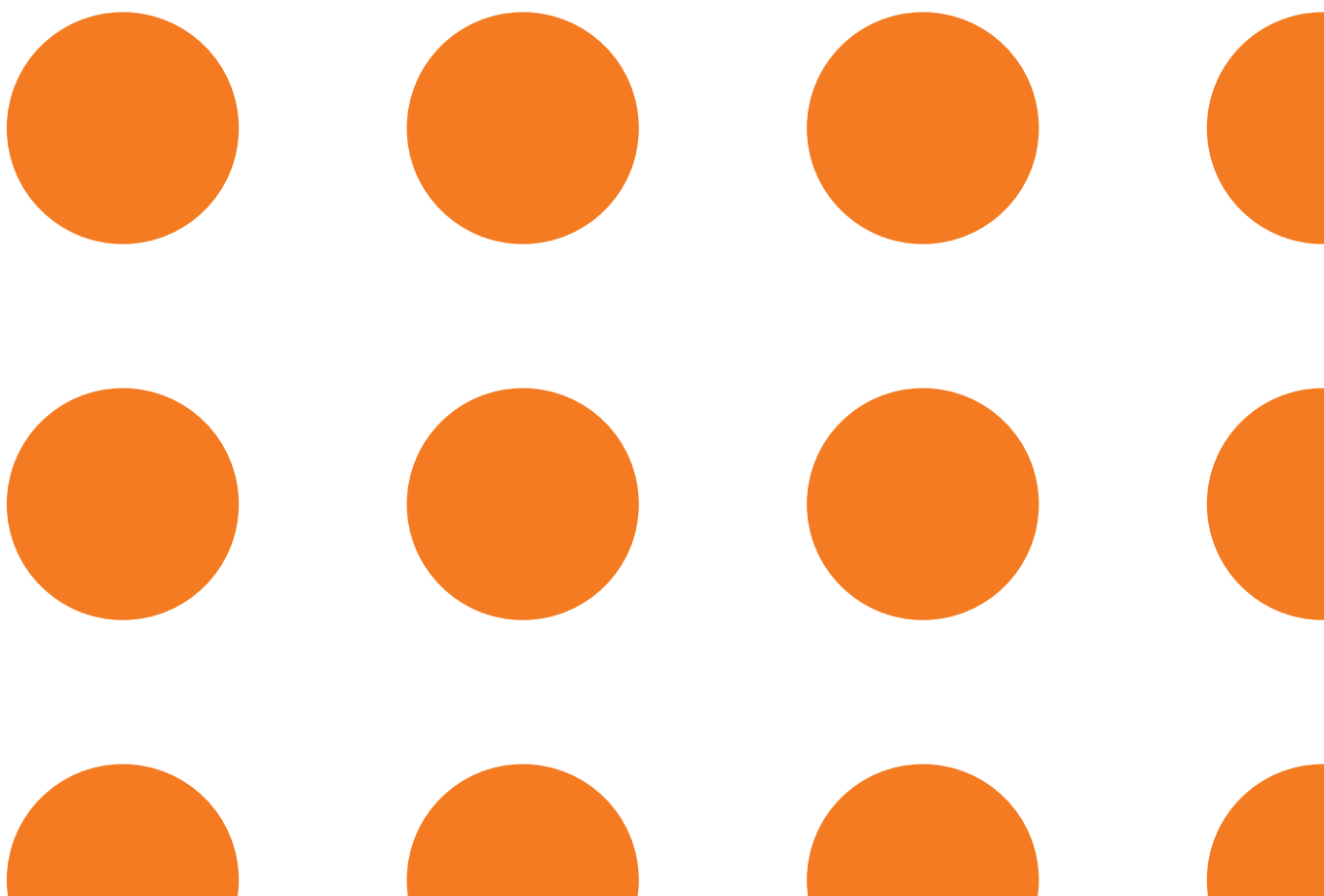


EDÍCIA SKRÍPT

PETER ŠULEK

HATE: Návodý na cvičenia



PETER ŠULEK

HATE: Návodý na cviĉenia

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



doc. Ing. Peter Šulek, PhD.

Recenzenti: Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
Ing. Martin Králik, Ph.D.

Schválila Edičná rada Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

ISBN 978-80-227-5506-1

„Hať v tichu rieky pevne stojí,
drží tok, čo inak sa rozlieva,
vlny jej šepkajú v nekonečnej zbroji,
v stráži ticha jej sila prebýva.“

Autor: ChatGPT 4.0 – ©  OpenAI

Prompt: Napiš v slovenskom jazyku štvorveršie na tému hať.

Podakovanie:

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	Podklady pre návrh hate	2
2.1.1	Geodetické podklady	2
2.1.2	Geologické a hydrogeologické podklady.....	2
2.1.3	Hydrologické a hydraulické podklady.....	3
3	Rozdelenie hatí	5
4	Koncepčné a dispozičné riešenie	8
5	Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate	13
5.1	Návrhový prietok hate a haťového profilu	14
5.2	Maximálna prevádzková hladina nad haťou	15
5.2.1	Výpočet priebehu hladiny v toku pomocou HEC-RAS	20
5.2.1.1	Vytvorenie nového projektu	23
5.2.1.2	Zadávanie geometrických údajov.....	24
5.2.1.3	Zadávanie okrajových podmienok simulácie.....	29
5.2.1.4	Simulácia nerovnomerného prúdenia.....	31
5.2.1.5	Zobrazenie výsledkov	33
5.2.2	Stanovenie kapacity koryta (korytového prietoku – Q_{kor})	33
5.2.3	Stanovenie maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou – K_{max}	33
5.2.4	Stanovenie návrhového prietoku hate – Q_n	34
5.3	Minimálna prevádzková hladina	34
5.3.1	Výpočet minimálnej hĺbky zanorenia stropu odberu – h_s	35
5.3.2	Stanovenie minimálnej prevádzkovej hladiny v zdrži nad haťou – K_{min}	36
5.4	Návrh úpravy toku nad haťou	36
5.5	Návrh úpravy toku pod haťou	36
5.5.1	Odtokové pomery v odpadovom koryte pod haťou.....	37
5.5.1.1	Výpočet konzumpčnej mernej krivky koryta pod haťou.....	38
5.6	Návrh počtu a šírky haťových polí.....	40
5.6.1	Výpočet účinnej (efektívnej) šírky hate – b_U	41
5.6.1.1	Stanovenie prepádového súčiniteľa – μ_p	43
5.6.1.2	Výpočet prítokovej rýchlosti vody nad haťou – v_0	46
5.6.1.3	Stanovenie súčiniteľa zatopenia – σ_z	46

5.6.2	Stanovenie počtu haťových polí – n_p	48
5.6.3	Výpočet svetlej šírky hate – b	49
5.6.3.1	Stanovenie súčiniteľa kontrakcie deliacich pilierov – ξ_p	50
5.6.3.2	Stanovenie súčiniteľa kontrakcie brehovú krídiel – ξ_k	51
5.7	Kapacita hate	52
5.8	Návrh podhatia	54
5.8.1	Spojenie hladín hornej a dolnej zdrže hate; vodný skok	55
5.8.2	Návrh vývaru	57
5.8.2.1	Stanovenie návrhového prietoku – q_n	58
5.8.2.2	Výpočet hĺbky vývaru – d_v	60
5.8.2.3	Výpočet dĺžky vývaru – l_v	62
5.8.2.4	Predbežný návrh hrúbky vývarovej dosky – h_b	63
6	Konštrukčný návrh stavebných častí hate	66
6.1	Spodná stavba hate, vývar	66
6.1.1	Návrh tvaru horného (návodného) obrysu spodnej stavby hate	66
6.1.1.1	Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy	67
6.1.1.2	Prechod medzi priepadovou plochou a vývarom	70
6.1.1.3	Vývar	70
6.1.2	Návrh tvaru dolného obrysu spodnej stavby hate	74
6.1.2.1	Zvislé tesniace prvky	76
6.1.2.2	Vodorovné tesniace prvky	78
6.1.2.3	Posúdenie dolného obrysu spodnej stavby hate	79
6.2	Opevnenia dna za podhatím (vývarom)	83
6.2.1	Návrh parametrov opevnenie dna za haťou	84
6.3	Opevnenia dna pred haťou	87
6.3.1	Posúdenie stability dna pred haťou	88
6.4	Deliace piliere	89
6.4.1	Predbežný návrh šírky deliacich pilierov	92
6.4.2	Návrh dĺžky deliacich pilierov	94
6.4.3	Návrh výšky deliacich pilierov	95
6.5	Brehové piliere a krídla	98
6.5.1	Návrh brehových pilierov a krídiel	99
6.6	Členenie hate dilatáciami škárami	100
7	Výpočet zaťaženia pôsobiaceho na hať	103
7.1.1	Vlastná tiaž konštrukcie	104
7.1.2	Zemný tlak	106

7.1.2.1	Aktívny zemný tlak	106
7.1.2.2	Pasívny zemný tlak	108
7.1.3	Tlak vody	110
7.1.4	Tlak presakujúcej vody (vztlak)	113
8	Statické posúdenie konštrukcie hate	117
8.1.1	Voľba zaťažovacích stavov	119
8.1.2	Stabilita (odolnosť) proti posunutiu	120
8.1.3	Stabilita proti nadvihnutiu vztlakom vody	124
8.1.4	Stabilita proti preklopeniu	126
9	Použitá literatúra a zdroje	129

1 Úvod



1.1 Ciele

Znalosti o navrhovaní (projektovaní) a vlastnej výstavbe vzdúvacích stavieb (hatí) sú nevyhnutnou zložkou vzdelania vodohospodárskeho inžiniera. Návrh hate musí pritom vychádzať z komplexného technicko-ekonomického posúdenia vodohospodárskeho účelu a musí preukázať jej reálnosť vo vyžadovaných ukazovateľoch. Náuka o hatiach je založená na mnohých teoretických, prípravných a praktických disciplínach a je úzko spojená najmä s náukou o úprave tokov. Dnes nie je možné zodpovedne navrhnuť 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. Navrhovanie samotnej stavby hate však má svoje špecifické otázky a metódy, ktoré z nej činia samostatnú problematiku.

Učebný text „Hate – Návod na cvičenia“, ktorý máte pred sebou, bezprostredne nadväzuje na skriptá *Šulek: Hate* (SvF SU Bratislava 2023) a je primárne určený pre študentov Stavebnej fakulty STU v Bratislave, odbor Vodné hospodárstvo a vodné stavby. Je však vhodný aj pre študentov iných odborov – napr. Inžinierskych konštrukcií a dopravných stavieb, príp. Krajinnárstvo a krajinné plánovanie. Text je koncipovaný ako príručka pre návrh hate, kde jednotlivé časti návrhu sú popísané najprv teoreticky a následne je každé čiastkové riešenie prezentované na konkrétnej úlohe.

Je nutné poznamenať, že tieto skriptá nepredpisujú určitý jednotný spôsob riešenia hate, pretože každý projekt hate je potrebné vypracovať s ohľadom na jeho špecifiká. Je to preto, že riešenie hate je ovplyvňované nielen účelom, pre ktorý sa buduje, ale vo veľkej miere aj topografickými pomermi, geologickou stavbou podlažia, výskytom stavebného materiálu, hydrologickými a klimatickými pomermi a v neposlednom rade aj prevádzkovými požiadavkami. Zároveň je nutné poznamenať, že hať sa obvyčajne projektuje ako súčasť vodného diela, kde okrem hate ako vzdúvacieho objektu sú aj mnohé ďalšie objekty, napr. odberný objekt, vodná elektráreň, plavebná komora atď., ktorým je potrebné riešenie hate vhodne prispôbiť.



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, kapacita hate, návrh spodnej stavby hate, statické posúdenie stavebných častí hate



2 Podklady pre návrh hate

Pred samotným návrhom hate, resp. vodného diela je nutné sa čo najdôslednejšie oboznámiť s podmienkami výstavby a prevádzky. Na 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.

Nevyhnutné sú najmä podklady:

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

2.1.1 Geodetické podklady

Geodetické a topografické podklady sú dôležité najmä v súvislosti s celkovým koncepčným riešením hate (Kap. 3) a väčšinou obsahujú:

- prehľadnú mapu územia dotknutého výstavbou a prevádzkou hate s vyznačenými komunikáciami, vrstevnicami, chránenými oblasťami a pod.,
- katastrálnu mapu potrebnú na vyhodnotenie majetkovo-právnych vzťahov,
- situáciu so zakreslenými inžinierskymi sieťami potrebnú na vyhodnotenie prípadných kolízií navrhovanej hate s existujúcimi objektami,
- 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).

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

2.1.2 Geologické a hydrogeologické podklady

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 najmä o pohybe podzemnej vody a možnosti sufózných javov v podloží 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. Inžiniersko-geologický prieskum zahrňuje geológom spracovanú priestorovú interpretáciu získaných údajov (geologické mapy a rezy (profily)); výsledkom laboratórneho skúmania sú materiálové charakteristiky odobraných vzoriek zemín. 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.

Hydrologické podklady sú nevyhnutné najmä pre stanovenie kapacity hate.

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

2.1.3 Hydrologické a hydraulické podklady

Tieto podklady sú nevyhnutné pre stanovenie návrhového prietoku hate (Kap. 5.1) aj pre stanovenie postupu výstavby vrátane prevádzania veľkých vôd. Medzi **hydrologické** podklady patrí:

- priemerný ročný prietok,
- čiara prekročenia priemerných denných prietokov,
- údaje o opakovaní výskytu veľkých vôd (n – ročné prietoky),
- priebehy povodňových vln,
- údaje o prameňoch na dotknutom území,
- údaje o zimnom režime toku (t. j. priebeh zamrzania vodnej hladiny, hrúbka ľadu)
- klimatologické údaje.

Medzi **hydraulické** podklady patria:

- priebehy hladín na úsekoch toku ovplyvnených výstavbou a prevádzkou hate,
- údaje o prúde vody v oblasti hate a cez ňu,
- poloha hladín, smer a rýchlosť prúdenia podzemných vôd,
- splaveninový režim toku a prítokov, trendy ich morfológického 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 bežných resp. 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 meraním až po výstavbe hate.

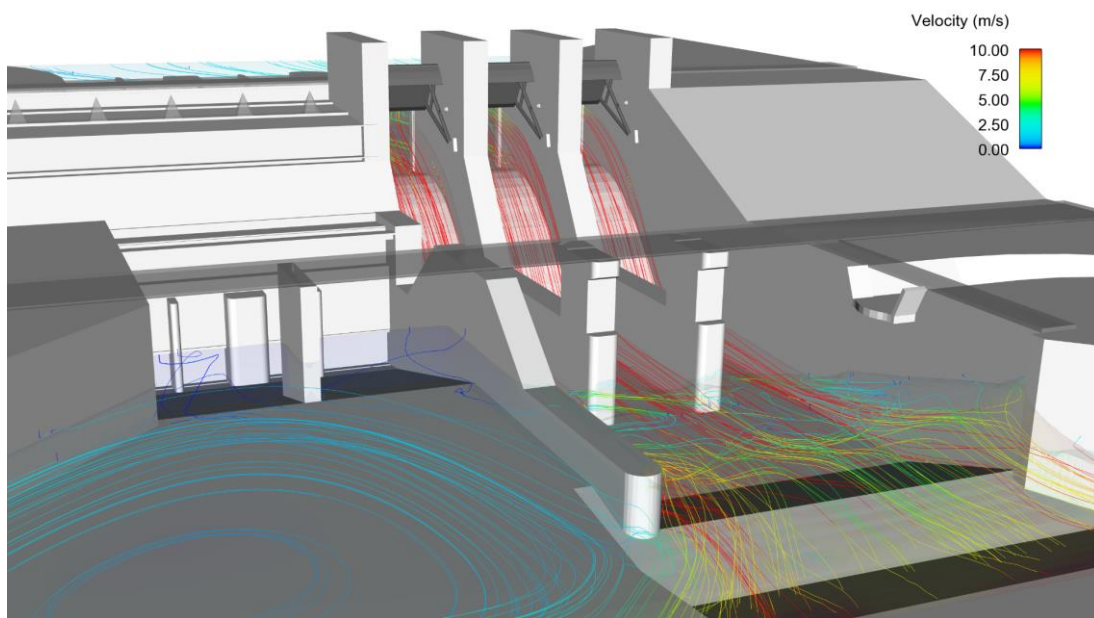
Medzi údaje, ktoré je možné v procese návrhu hate zabezpečiť výlučne matematickou simuláciou (Obr. 2.1) alebo fyzikálnym modelovaním na hydraulických modeloch postavených v hydrotechnických laboratóriách v zmenšenej mierke (Obr. 2.2), sú údaje o prúde vody v oblasti hate. Obrovskou výhodou získavania údajov, a to najmä matematickým modelovaním, je možnosť simulácie prúdenia vody nielen pre veľké množstvo prevádzkových režimov a pre širokú škálu prietokov, ale aj pre rôzne varianty riešenia 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.

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

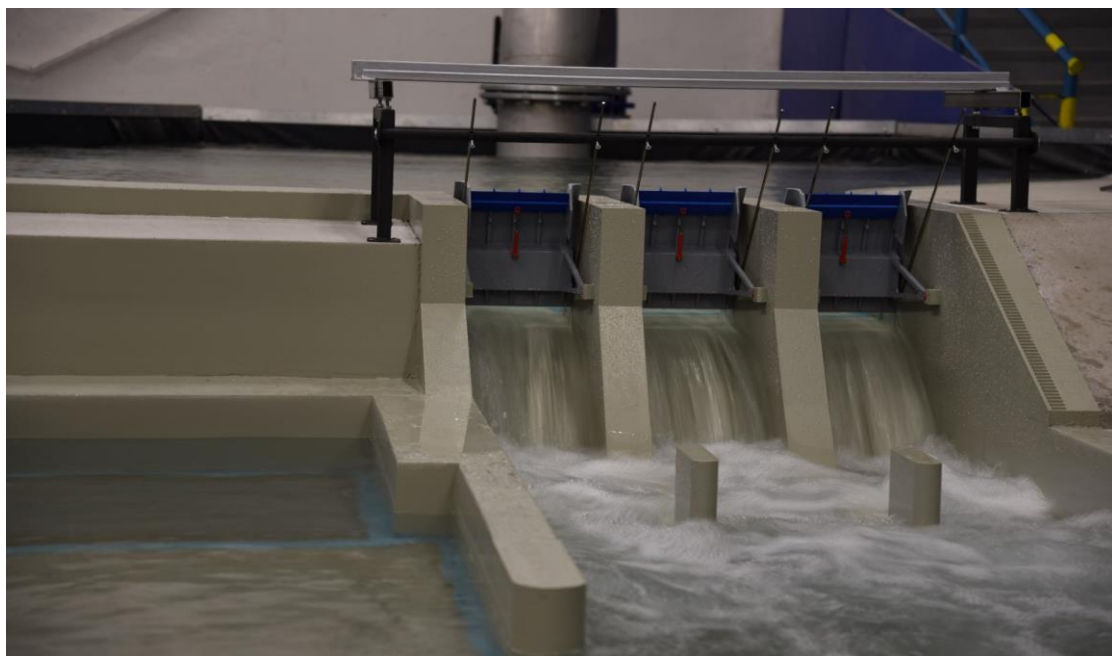
- územný plán predmetného územia,
- údaje o chránených územiach, resp. chránených pamiatkach,

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.

- plavebné pomery,
- ichtyologické pomery,
- údaje o odberoch z toku,
- údaje o kvalite, resp. chemickom zložení vody.



Obr. 2.1 Prúdenie vody v oblasti hate VD Žilina získané 3-D matematickou simuláciou pomocou softvérového nástroja 3D- FLOW (Zdroj: SvF STU Bratislava, © Martin Orfánus)



Obr. 2.2 Prúdenie vody v oblasti hate VD Žilina na fyzikálnom modeli v hydrotechnickom laboratóriu Katedry hydrotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave (Zdroj: archív autora)



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

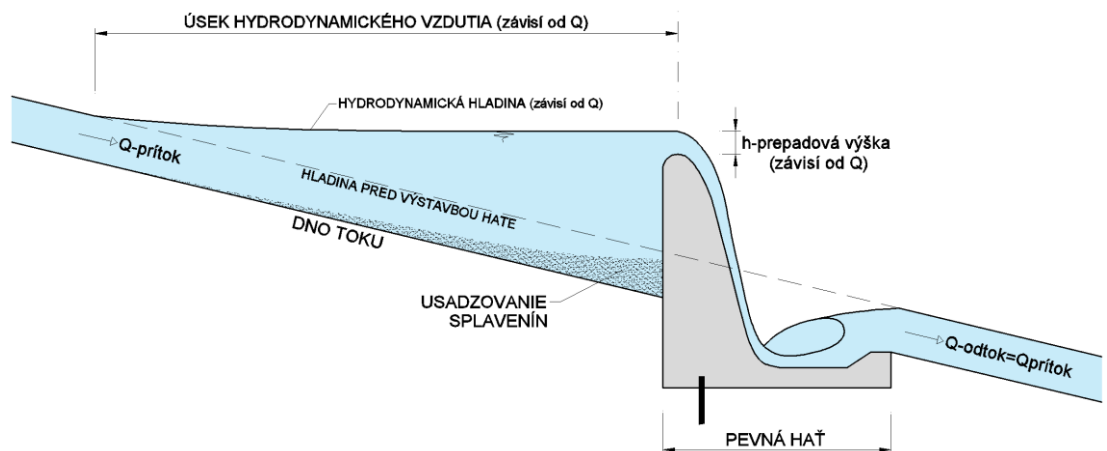
Pevné hate vodu len vzdúvajú; nie sú schopné regulovať prietok – prítok do priestoru nad haťou sa rovná odtoku z profilu hate do úseku toku pod haťou.

3 Rozdelenie hatí

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

- konštrukčného riešenia na:
 - pevné,
 - pohyblivé.
- prevažujúceho materiálu telesa hate na napr.:
 - drevené,
 - kamenné,
 - murované,
 - betónové,
 - železobetónové.
- podľa pôdorysného tvaru koruny priepadu na:
 - priame kolmé,
 - priame šikmé,
 - oblúkové,
 - zalomené.
- podľa typu pohyblivého uzáveru na napr.:
 - klapkové,
 - stavidlové,
 - segmentové,
 - vakové,
 - valcové.

Základným hľadiskom pre delenie hatí je ich konštrukčné riešenie vo vzťahu k možnosti regulovať hladinu na haťou (t. j. či manipuláciou s prietokom pretekajúcim cez hať je možné ovplyvňovať výšku hladiny na haťou), podľa ktorého môžeme rozdeliť hate do dvoch základných skupín, a to na hate *pevné* a *pohyblivé*.



Obr. 3.1 Pevná hať – schéma priečného rezu

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

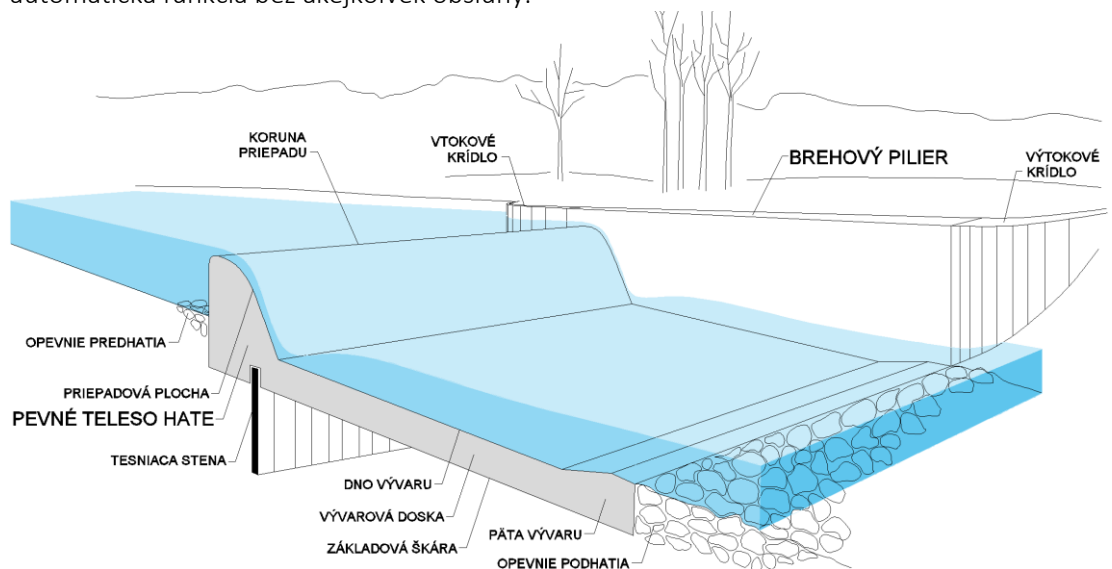
Pohyblivé hate sa s výhodou používajú najmä na tokoch v rovinatom území s nižšími brehmi.

Pevná hať vzdúva vodu v toku pevným nepohyblivým haťovým telesom vytvoreným väčšinou z dreva, kameňa, muriva, betónu alebo železobetónu, ktoré nemá žiadne pohyblivé konštrukcie. Nie sú schopné regulovať prietok pretekajúci cez hať, 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 prepádová výška vody nad **korunou priepadu** hate, zvyšuje sa poloha hladiny a predlžuje dĺžka vzdutia (Obr. 3.1).

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. 3.2 Pevná hať – priestorová schéma

Pevná hať má 4 hlavné konštrukčné časti (Obr. 3.2):

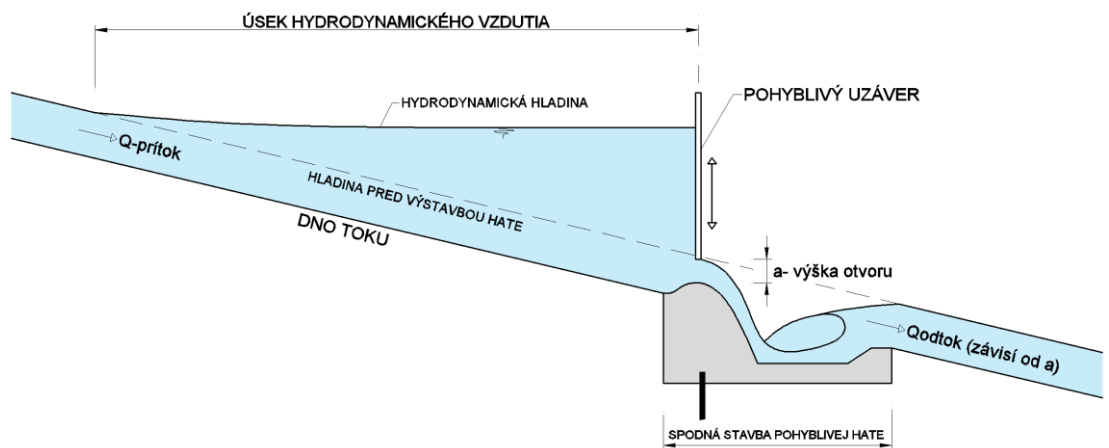
- pevné teleso hate,
- základ s **tesniacimi (protipriesakovými prvkami)** zabezpečujúcimi stabilitu haťového telesa a zabraňujúcimi priesaku pod haťou (Kap. 6.1.2.1 a Kap. 6.1.2.2),
- **podhatie**, upravené obyčajne ako **vývar** (opevnená „nádoba“, ktorá tlmí energiu prepádajúcej vody (Kap. 6.1.1.3 a Kap. 5.8.2), nadväzujúce na **priepadovú plochu**,
- **brehové piliere** s **vtokovými** a **výtokovými krídlami** (Kap. 5.6.3.1 a Kap. 6.5.1).

Pohyblivá hať vzdúva vodu v toku **pohyblivými hradiacimi uzávermi**, ktoré dosadajú alebo sú uložené na pevnú spodnú stavbu hate. S pohyblivými uzávermi je možné podľa potreby manipulovať (t. j. zdvíhať ich, spúšťať, sklápať, resp. otáčať), čím sa reguluje veľkosť plochy, cez

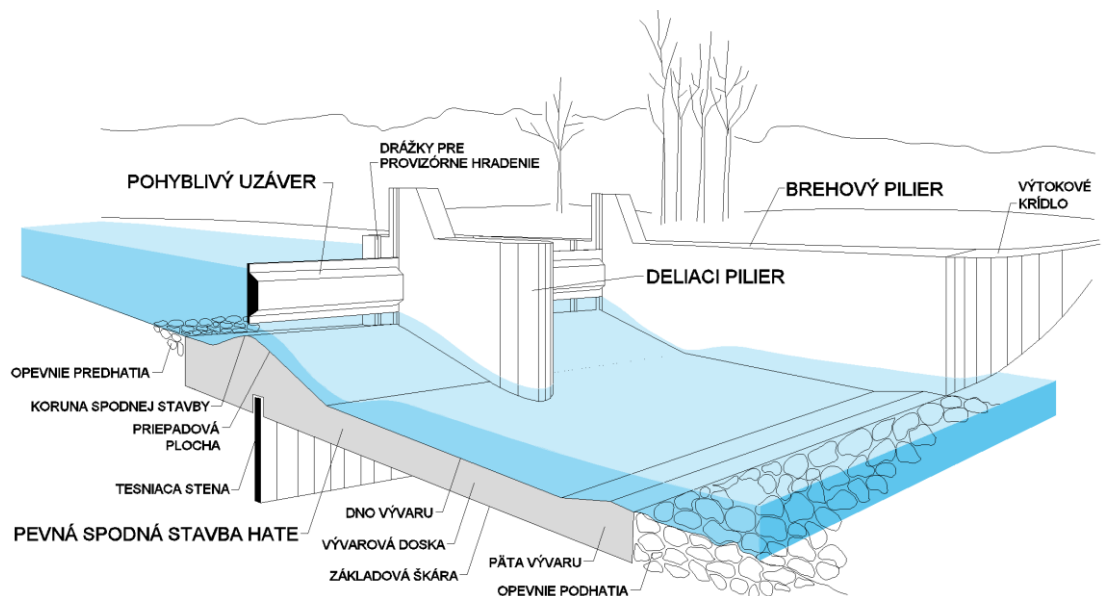
Pevné hate sa využívajú pri úpravách horských tokov, kde je nutné zmenšiť a stabilizovať pozdĺžny sklon alebo na menších riekach s vysokými brehmi, kde neváži veľká rozkolísanosť hladín.

ktorú preteká voda, tak aby sa hladina vzdutej vody v zdrži nad haťou udržiavala na požadovanej, spravidla na konštantnej úrovni (Obr. 3.3). Pri veľkých prietokoch sa haťové uzávery úplne vyhradia, takže sa celý prietochný 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. Bližšie je problematika pevných a pohyblivých hatí popísaná napr. v [37].

Pohyblivá hať, tak ako v prípade pevnej hate, pozostáva z pevnej spodnej stavby hate, základu, podhatia a brehových pilierov s vtokovými a výtokovými krídlami. Na rozdiel od pevnej hate má navyše pohyblivé hradiace uzávery.



Obr. 3.3 Pohyblivá hať; príklad regulácia prietoku výtokom pod pohyblivý uzáver – schéma priečného rezu



Obr. 3.4 Pohyblivá hať (typ uzáveru: zdvižné stavidlo) – priestorová schéma



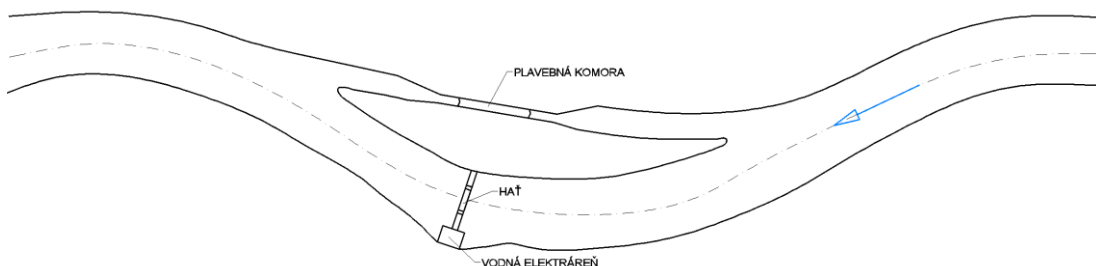
4 Konceptné a dispozičné riešenie

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

- **umiestnenie hate,**
- **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 prevádzkovou hladinou v zdrži** (Kap. 5.2),
- **hladinu stáleho vzdutia** – t. j. úroveň hydrostatickej hladiny v haťovej zdrži, pod ktorú nemá za bežnej prevádzky hladina v zdrži klesnúť – **väčšinou je zhodná s minimálnou prevádzkovou hladinou v zdrži** (Kap. 5.3),
- **spád** – t. j. rozdiel hladín pod a nad haťou, pričom ten sa mení v závislosti od veľkosti prítoku pretekajúceho cez hať.

O umiestnení hate rozhoduje:

- samotný účel hate,
- 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. 4.1). Zabezpečiť 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.,
- lokalizácia prítoku – výhodné je umiestniť hať nad sútokom, aby sa obmedzilo množstvo usadených splavenín 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 elektrárňa, plavebná komora a pod.).



Obr. 4.1 Vodné dielo Hradištko na Labe, ČR

Hate sa budujú aj ako samostatné objekty (napr. pri úpravách tokov a menších riek, kde je potreba postupným usadzovaním splavenín nad haťou zmierniť, a tým stabilizovať sklon dna, ale väčšinou sa do riečneho profilu, s cieľom zaistiť rôzne účely, umiestňujú aj ďalšie objekty, napr. vodná elektrárňa (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**.

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

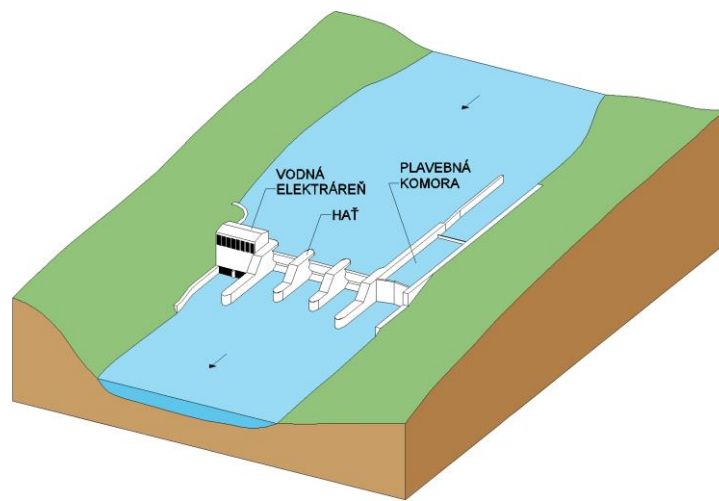
Na umiestnenie hate majú rozhodujúci vplyv najmä parametre prúdenia toku, základové pomery, spôsob výstavby a interakcia s objektami budovanými spolu s haťou.

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. konceptné 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 splavenín, 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. **konceptné riešenie** vodného diela.

Napr. vodnú elektrárňu, ktorá haťou vytvorený spád využíva na výrobu elektrickej energie je možné umiestniť priamo pri hať, tzv. **riečna schéma**. Riečna schéma je typická sústredením funkčných objektov do jedného profilu na toku v bezprostrednej vzájomnej blízkosti (Obr. 4.2, Obr. 4.3).



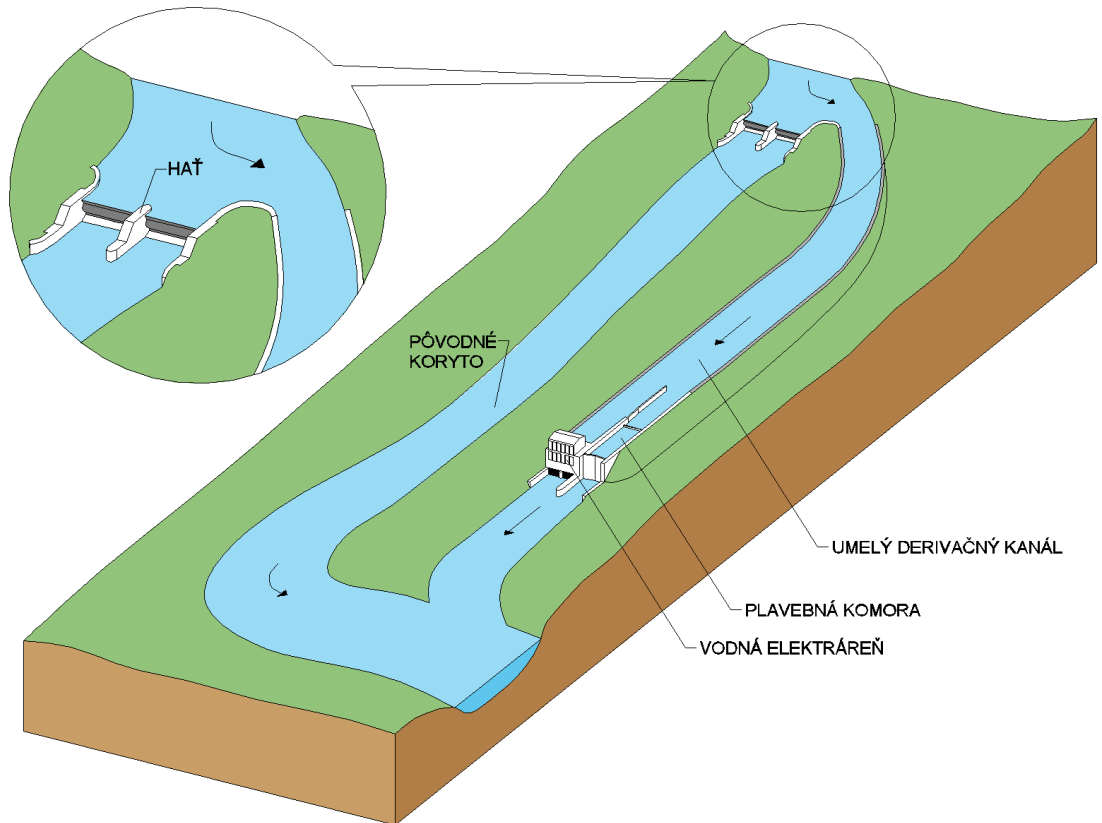
Obr. 4.2 Riečna schéma vodného diela



Obr. 4.3 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 elektrárnou, je vodná elektrárňa umiestnená na konci tohto kanála hovoríme o tzv. **derivačnej schéme** (Obr. 4.4).



Obr. 4.4 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 elektrárňa 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, nielen 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 konceptného a dispozičného riešenia vodného diela sa okrem funkčných požiadaviek musí rešpektovať aj ochrana prírody, rybárstvo, urbanistické a hygienické požiadavky.

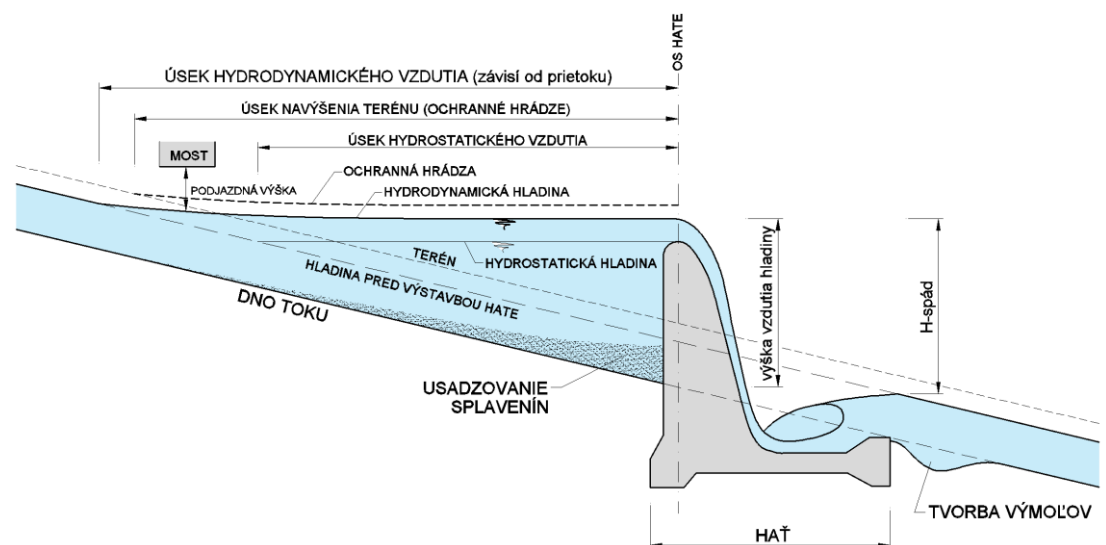
vodných diel je možné odvodiť určité všeobecné zásady, ktoré sú potrebné pri návrhu dispozičného riešenia rešpektovať:

- 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 elektrárňu 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 konkávných strán protismerných oblúkov, aby sa znížilo zanášanie vjazdov rejd splaveninami (Obr. 4.1).

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 navrhnuť len na základe podrobného hydrotechnického výskumu, na základe skúmania niekoľkých variánt s prihliadnutím ku všetkým aspektom, ktoré môžu výsledný návrh ovplyvniť.

Pri návrhu konceptného 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. 4.5).



Obr. 4.5 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. 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. 2a), je rozhodujúcim faktorom výšková úroveň odberov. V takomto prípade je pri návrhu výšky vzdutia nutné uvažovať v zmysle Kap. 5.2 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 „strhávaní“ splavenín do odberu.
- v prípade, že sa hať buduje s cieľom využiť vodnú energiu na výrobu elektrickej energie, je rozhodujúcim faktorom snaha získať čo najväčší výškový rozdiel hladín nad a pod haťou.

Pre stanovenie vzdutia hladiny je nutné vypočítať priebehy vzdutých (**hydrodynamických**) hladín, tzv. *kriviek vzdutia* (Kap. 5.2), 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 príľahlom 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.



5 Dimenzovanie základných stavebných rozmerov hate

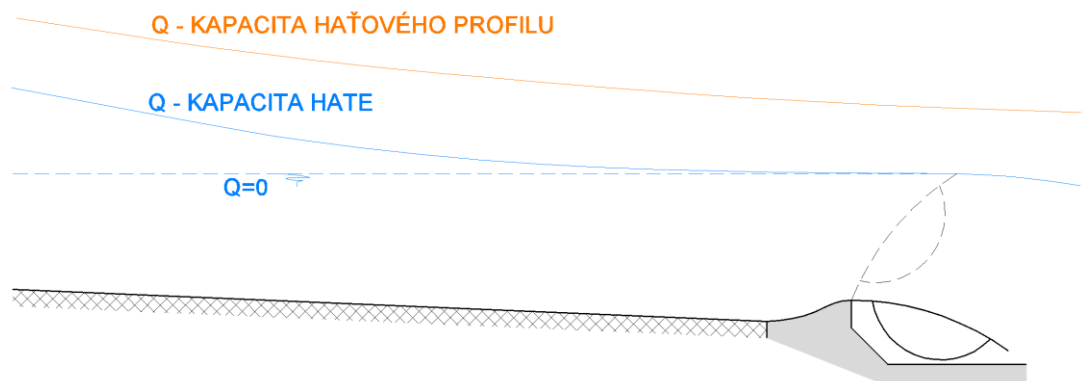
Okrem vyššie uvedených základných geodetických, geologických a hydrologických podkladov (Kap. 2) musí byť pred dimenzovaním základných stavebných rozmerov a tvarov hate známa celková vodohospodárska koncepcia riešenia definujúca najmä výber vhodnej lokality, určenie výšky vzdutia hladiny a spádu na hati. 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.

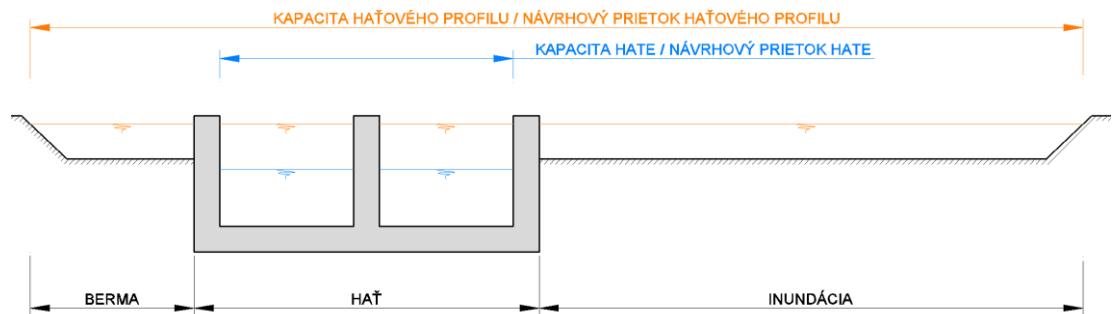
Jednotlivé hydrotechnické výpočty sa navzájom ovplyvňujú a sú závislé od režimu toku, v prípade pohyblivých hatí, od navrhnutých haťových uzáverov a od spôsobu manipulácie s haťou. Pri hydrotechnických výpočtoch je nutné rozlišovať dva pojmy, a to:

- **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 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. 5.1 a Obr. 5.2).

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



Obr. 5.1



Obr. 5.2 Kapacita hate a haťového profilu

Príklad výpočtu kapacity hate je uvedený v Kap. 5.7.



5.1 Návrhový prietok hate a haťového profilu

Pri dimenzovaní hate rozlišujeme *návrhový prietok hate* a *návrhový prietok haťového profilu* (Obr. 5.2).

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

Návrhový prietok hate je podľa [35] prietok, ktorý musí byť prevedený cez haťové otvory, resp. haťové polia, pričom konštrukcia hate musí pri navrhutej 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*.

Návrhový prietok hate (resp. návrhový prietok haťového profilu pri obtekanej hati) musí byť minimálne taký, aká je kapacita toku (aj výhľadová) pri danej kóte normálneho vzdutia.

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

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 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 vln), 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 nielen výšku hladiny pri danom prietoku v profile hate, ale aj pozdĺž celej zdrže nad haťou – t. j. vypočítať tzv. **krivku vzdutia**.

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



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

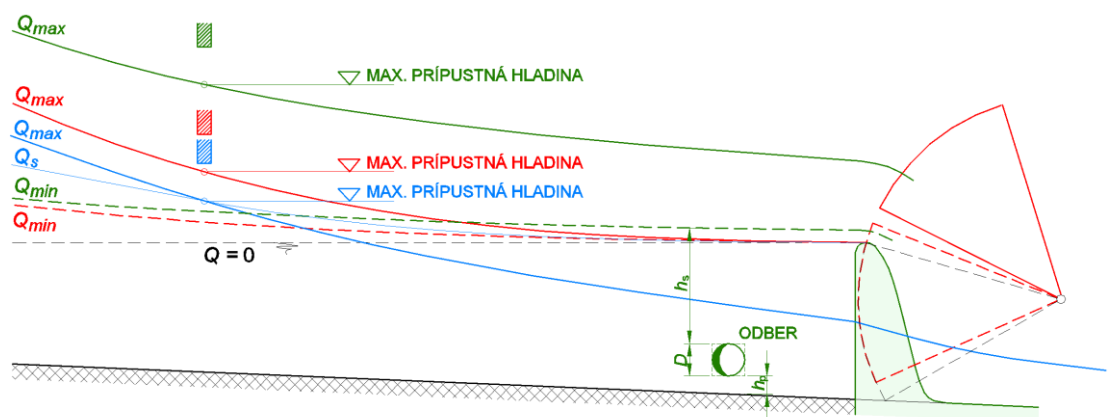
5.2 Maximálna prevádzková hladina nad haťou

Neodmysliteľnou súčasťou stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou je výpočet priebehu hladiny po celej dĺžke haťovej zdrže.

Pri návrhu úrovne maximálnej prevádzkovej hladiny (tiež nazývanej ako hladina normálneho vzduťtia (Kap. 3)) je snaha, aby zvýšenie hladiny v toku vyvolané výstavbou hate bolo oproti pôvodnému stavu, najmä pri veľkých vodách, čo najmenšie. Priebeh hladiny (krivky vzduťtia) sa preto preveruje nie len pre návrhový prietok, ale aj pre väčšie povodňové prietoky.

Pri výpočte krivky vzduťtia 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 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. 5.3.



Obr. 5.3 Stanovenia maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou vo vzťahu k existujúcemu premosteniu

V prípade, že vzdúvame hladinu pevnou haťou, je nutné hať navrhnuť 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 udržiavať 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 navrhnuť tak, aby bola konštantná hladina nad haťou udržiavaná iba do určitého stredného prietoku Q_s . Návrhový prietok Q_{max} , resp. Q_n je potom prevádzkaný 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.

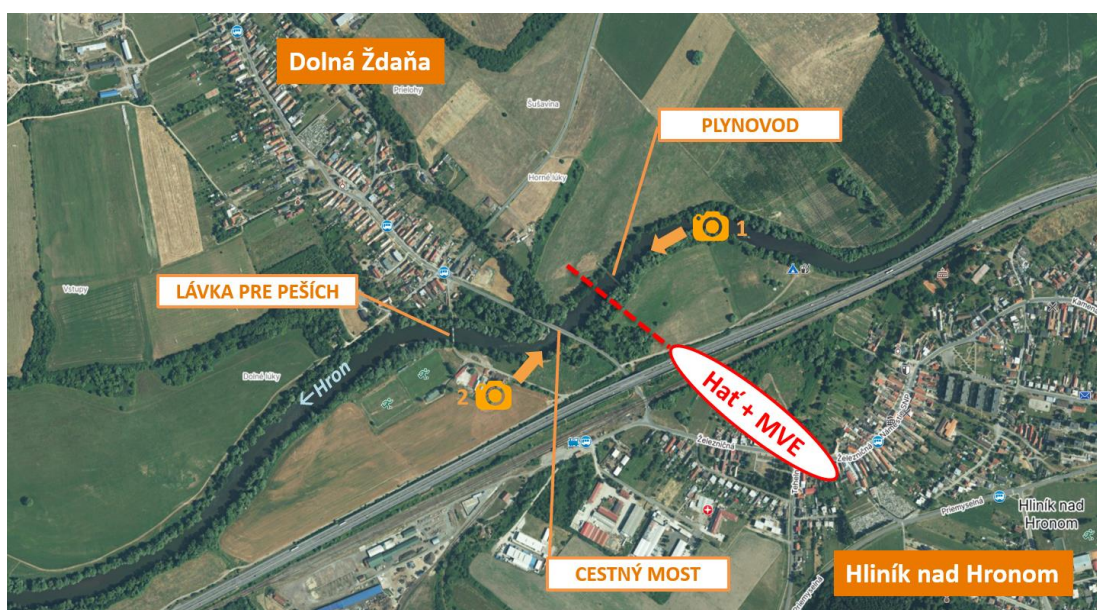


Úloha č. 1

Je potrebné stanoviť maximálnu prevádzkovú hladinu (hladinu normálneho vzdutia) nad haťou a návrhový prietok hate uvažovanej malej vodnej elektrárne (MVE) na rieke Hron v lokalite Hliník nad Hronom (Obr. 5.4). Pri riešení sa vychádza z hydrologických podkladov v (Tab. 5.1 a Tab. 5.2) a z geodetického zamerania priečných profilov Hrona v predmetnej lokalite znázornených na Obr. 5.5 (Tab. 5.3). Pri koncepcii riešenia sa uvažuje s riečnou schémou, t. z. že z hľadiska hydro-energetického pôjde o MVE prihaťového typu s nutnosťou udržiavania konštantnej hladiny nad MVE pomocou pohyblivého haťového uzáveru.

Navrhovaný profil stupňa sa nachádza v rkm 119.000, cca 120 m proti prúdu Hrona nad cestným mostom Hliník nad Hronom – Dolná Ždaňa. Pod navrhovaným profilom sa cca vo vzdialenosti 260 m po prúde nachádza lávka pre peších. Nad navrhovaným profilom cca vo vzdialenosti 60 m proti prúdu Hrona sa nachádza plynovod ponad Hron. Plynovod je na premostení, ktoré je na brehoch zakotvené do podperných blokov. Oba brehy Hrona v dotknutom úseku nie sú ohrádzované. Sú približne v rovnakej výške. V koryte Hrona v profile navrhovanej MVE sa nachádza výrazná štrková lavica, ktorá sa vytráca smerom po prúde k cestnému mostu Hliník nad Hronom – Dolná Ždaňa. Na ľavom brehu v mieste profilu MVE je vybudovaná rýchlostná komunikácia R1 cca 100 m od koryta Hrona. Pod profilom MVE cca 500 m sa na pravom brehu na okraji obce Dolná Ždaňa nachádza vzdušné elektrické vedenie 22 kV.

Na Obr. 5.6 (1) a Obr. 5.7 (2) je fotodokumentácia k predmetnej lokalite.



Obr. 5.4 Lokalita Hliník nad Hronom na rieke Hron – prehľadná situácia (Zdroj: © Airbus, Google)

Tab. 5.1 N-ročné maximálne prietoky ($Q_{max,N}$)

N	1	2	5	10	20	50	100
$Q_{max,N} [m^3 \cdot s^{-1}]$	288	378	518	628	726	885	1015

Tab. 5.2 M-denné prietoky (Q_M)

M	30	90	180	270	330	355	364
$Q_{max,N} [m^3 \cdot s^{-1}]$	95.3	48.5	26.9	17.2	13.0	10.7	8.8

Tab. 5.3 Zameranie priečných profilov Hrona v lokalite Hliník nad Hronom (Zdroj: © GEO-AS)

Profil 1		Profil 2		Profil 3		Profil 4		Profil 5	
km	0.000	km	0.267	km	0.409	km	0.734	km	1.030
Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation
(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)
0.00	227.06	0.00	226.93	0.00	226.94	0.00	228.12	0.00	227.81
8.64	226.58	10.84	226.79	14.99	226.95	18.19	228.11	7.57	227.79
12.90	224.09	15.01	224.90	17.13	225.34	20.29	229.18	18.87	227.99
14.27	223.88	16.71	224.71	19.12	225.27	24.11	228.99	21.60	225.60
16.27	223.27	23.84	224.31	26.64	224.96	27.93	226.92	25.23	224.38
22.32	222.85	31.09	224.32	32.69	224.91	36.64	225.60	27.83	224.47
30.55	222.74	38.66	224.63	40.27	224.78	38.33	225.53	33.86	224.96
39.90	222.92	46.35	224.70	47.32	224.79	44.41	224.96	37.11	225.56
47.39	223.26	50.92	224.19	53.25	224.90	49.82	224.64	41.52	225.57
52.29	223.57	59.93	223.70	61.09	224.85	55.25	224.57	50.41	224.59
56.05	224.14	65.95	224.89	72.01	225.26	61.94	224.27	55.86	224.51
63.51	226.27	74.02	226.74	82.09	225.02	68.56	224.28	61.10	224.58
80.08	226.81	80.89	226.90	82.93	225.26	72.68	224.68	67.20	224.09
88.99	226.45	84.29	226.96	89.09	227.70	78.26	225.05	71.22	224.23
92.16	226.67	111.98	226.90	105.87	227.43	83.60	225.50	73.10	225.11
105.65	226.90			108.92	227.50	87.01	225.76	74.99	225.69
				123.09	227.65	92.29	226.69	78.94	226.07
						106.83	227.58	80.94	225.92
						116.30	227.94	87.52	226.09
								93.83	226.81
								101.34	227.58
Profil 6		Profil 7		Profil 8		Profil 9		Profil 10	
km	1.105	km	1.237	km	1.482	km	1.778	km	2.013
Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation
(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)
0.00	228.32	0.00	228.60	0.00	228.69	0.00	229.51	0.00	230.63
18.40	228.04	16.76	227.86	10.83	228.67	12.01	229.26	2.35	230.03
22.30	226.08	34.41	228.32	19.32	228.32	14.78	227.57	8.08	230.08
27.24	225.66	37.88	227.10	29.04	226.47	18.04	227.00	11.54	230.09
31.08	225.65	38.66	226.40	29.35	227.63	22.08	226.72	14.62	230.26
39.13	225.56	46.33	225.98	35.41	226.05	26.25	227.04	16.97	227.59
52.13	225.72	59.45	226.09	41.71	225.94	35.51	227.06	17.24	226.96
60.11	225.65	68.22	225.92	47.34	225.80	44.44	226.97	18.55	226.70
63.46	225.94	79.84	225.62	51.65	225.65	52.76	227.02	24.92	226.06
69.78	226.02	88.61	226.44	55.13	225.54	53.96	227.02	32.66	226.18
80.66	225.46	91.34	228.24	60.07	225.45	60.67	227.28	42.46	226.89
80.94	225.77	101.80	228.74	62.94	225.43	66.67	227.12	50.86	227.24
83.10	227.88	137.54	228.20	66.40	226.51	69.22	227.52	56.04	227.61
90.02	228.52			69.80	228.92	69.99	228.48	60.32	227.64
95.42	228.02			78.07	228.98	71.79	229.03	65.04	229.09
101.83	227.81			90.81	228.86	80.55	229.24	70.43	229.73
						91.22	229.40	84.22	229.72
								100.67	229.52
Profil 11		Profil 12		Profil 13		Profil 14		Profil 15	
km	2.401	km	2.496	km	2.557	km	2.930	km	3.213
Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation	Station	Elevation
(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)	(m)	(m n. m.)
0.00	229.93	0.00	230.28	0.00	230.15	0.00	230.78	0.00	231.93
12.92	229.95	22.13	230.07	14.51	230.15	27.34	230.86	9.68	231.80
23.21	229.97	44.65	228.27	46.97	229.78	40.07	230.57	27.45	231.86
28.56	227.76	51.92	228.27	54.93	228.56	43.63	229.36	30.57	229.44
29.21	227.15	57.37	228.01	56.24	228.36	44.63	229.30	35.29	228.59
36.90	227.40	64.19	227.83	60.61	227.25	47.52	228.46	43.17	228.50
44.29	226.82	71.64	227.67	65.04	226.61	54.82	228.04	51.92	228.52
50.89	226.45	78.30	227.66	70.71	225.91	65.82	228.01	59.19	228.63
55.48	226.45	83.60	227.56	74.75	226.28	77.72	228.00	68.83	228.76
61.10	226.82	88.64	227.75	80.60	226.63	82.36	227.87	73.27	228.84
66.30	227.27	90.63	228.01	85.22	228.41	87.00	228.03	77.71	229.44
70.92	227.74	91.97	228.33	86.82	229.99	90.98	227.85	80.52	231.74
77.28	227.82	96.05	230.19	88.51	230.66	97.03	227.43	100.32	231.47
81.86	228.31	127.03	230.12	100.12	230.38	101.25	227.34		
89.09	229.57			107.97	230.26	106.44	228.44		
97.21	229.73					109.17	229.99		
108.08	229.57					115.86	230.70		
120.82	230.02					125.10	230.91		
						143.54	230.52		



Obr. 5.5 Lokalizácia zameraných priečných profilov Hrona v lokalite Hliník nad Hronom
(Zdroj: © Airbus, Google)



Obr. 5.6 Pohľad do koryta z ľavého brehu po prúde – plynovod, cestný most (Zdroj: archív autora)



Obr. 5.7 Pohľad do koryta z ľavého brehu proti prúdu – cestný most (Zdroj: archív autora)



Riešenie úlohy č. 1:

Pri stanovení maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou predmetného stupňa sa vychádza z predpokladu, že jeho výstavbou nesmie byť negatívne ovplyvnené prevedenie prietokov cez hať v porovnaní so stavom pred jeho výstavbou. Koncepcia riešenia by mala pritom spočívať v tom, že v prípade vyhradenia všetkých uzáverov na hati a pri dodržaní úrovne maximálnej prevádzkovej hladiny tesne nad haťou by sa nemala hladina nad haťou, a to v celom úseku toku ovplyvnenom výstavbou, vybežovať z koryta do inundačného územia na ľavom aj pravom brehu.

Takáto koncepcia sa dá zabezpečiť vtedy, ak návrhový prietok hate, resp. kapacita hate sa bude rovnať súčasnej kapacite koryta v úseku toku ovplyvnenom výstavbou (tzv. korytový prietok Q_{kor}) a maximálna prevádzková hladina bude na úrovni hladiny, pri ktorej je v súčasnom stave korytový prietok v navrhovanom profile stupňa prevádzaný.

Pri takejto koncepcii hate je však nutné preveriť, či trvalé zavzdutie hladiny nad haťou na úroveň hladiny zodpovedajúcej korytovému prietoku nespôsobí podmáčanie pozemkov v inundácii.

Prvým krokom je výpočet súčasnej kapacity koryta – korytového prietoku Q_{kor} (Kap. 5.2.2) a hladiny, pri ktorej je tento prietok v navrhovanom profile stupňa prevádzaný. Táto hladina potom bude zodpovedať maximálnej prevádzkovej hladine (Kap. 5.2.3). Pri stanovení kapacity koryta v predmetnej lokalite je preto nutné vypočítať pre škálu ustálených prietokov zodpovedajúce priebehy hladín a stanoviť prietok, pri ktorom sa začína hladina v úseku toku nad haťou vybežovať z koryta do inundácie.



Na výpočet priebehu hladiny, ktorá sa nastaví v toku pri ustálenom prietoku, sú vhodné metódy pre ustálené nerovnomerné prúdenie v systéme otvorených neprizmatických korýt všeobecného tvaru piečného profilu, napr. metóda po úsekoch.

5.2.1 Výpočet priebehu hladiny v toku pomocou HEC-RAS

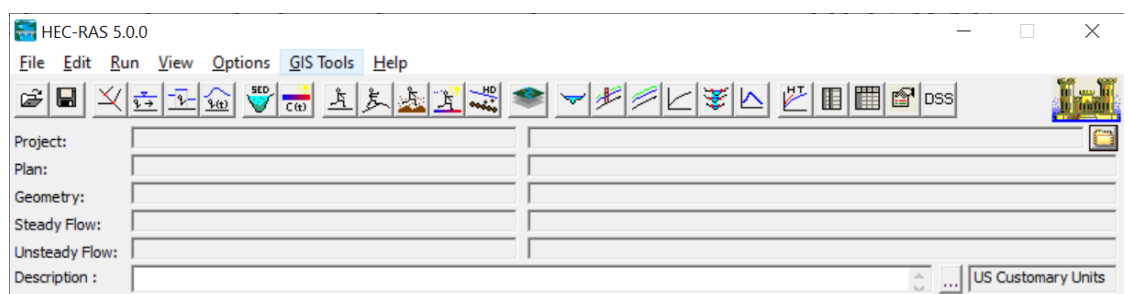
V prirodzených ale aj v upravených korytách, ktorých prietochný prierez a sklonové pomery sa po dĺžke toku menia, je väčšinou prúdenie ustálené – nerovnomerné. Na výpočet priebehu hladiny, ktorá sa nastaví v toku pri ustálenom prietoku sú vhodné metódy pre ustálené nerovnomerné prúdenie v systéme otvorených neprizmatických korýt všeobecného tvaru piečného profilu, napr. *metóda po úsekoch*. Existuje niekoľko široko používaných komerčných a nekomerčných modelov pre simuláciu hladinového a prietokového režimu v riekach, ako napríklad MIKE 11 [40], SOBEK od Delft [41], BASEMENT od ETH [42] alebo HEC - RAS [39].

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) vyvinutý americkým armádnym zborom inžinierov (U.S. Army Corps of Engineers) je široko používaný softvér určený prevažne na modelovanie ustáleného a neustáleného prúdenia vody v riekach. HEC-RAS umožňuje 1D a 2D simulácie prúdenia vody. 1D simulácie sa využívajú na analýzu prúdenia pozdĺž rieky v lineárnych úsekoch, zatiaľ čo 2D simulácie sú vhodné na modelovanie rozlievania vody do šírky pri záplavách. Okrem iného dokáže analyzovať vplyv infraštruktúrnych prvkov (mostov, resp. iných objektov v toku) na prúdenie. HEC-RAS je obľúbený z viacerých dôvodov, ktoré z neho robia efektívny nástroj na modelovanie prúdenia vody a analýzu povodňových rizík. Je poskytovaný zadarmo <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>, čo ho robí dostupným pre široké spektrum používateľov vrátane inžinierov, výskumníkov a verejných organizácií bez potreby investície do nákladného softvéru. V nasledujúcej časti textu je popísané ovládanie programu HEC-RAS vo verzii 5.0 v rozsahu potrebnom pre výpočet krivky vzdutia nad haťou.

Keď sa spustí inštalačný program HEC-RAS, automaticky sa v ponuke Štart v časti **Programy** vytvorí nová skupina programov s názvom **HEC** a ikona programu s názvom **HEC-RAS**.



Po spustení programu sa objaví hlavné okno „HEC-RAS 5.0.0“ (Obr. 5.8).



Obr. 5.8 Hlavné okno programu HEC-RAS

Ovládanie programu je možné v zmysle ©Microsoft Windows štandardov pomocou hlavného menu s panelom ponúk: **File | Edit | Run | View | Options | GIS Tools | Help**

File: Táto možnosť sa používa na správu súborov. Možnosti dostupné v ponuke **File** zahŕňajú:

New Project

Otvoriť nový projekt.

Open Project

Otvoriť existujúci projekt.

<i>Save Project</i>	Uložiť projekt.
<i>Save Project As</i>	Uložiť projekt pod iným názvom.
<i>Rename Project Title</i>	Premenovanie projektu.
<i>Delete Project</i>	Zmazanie projektu.
<i>Project Summary</i>	Zhrnutie projektu.
<i>Import HEC-2 Data</i>	Vloženie dát vo formáte HEC-2.
<i>Import HEC-RAS Data</i>	Vloženie dát vo formáte HEC-RAS.
<i>Generate Report</i>	Vytvorenie správy.
<i>Export GIS Data</i>	Vytvorenie výstupných dát využiteľných v GIS.
<i>Export to HEC-DSS</i>	Vytvorenie výstupného súboru .dss
<i>Restore Backup Data</i>	Obnovenie záložných dát.
<i>Debug Report ...</i>	Správa o ladení programu.
<i>Exit</i>	Ukončenie programu.

Okrem toho sú v spodnej časti ponuky uvedené naposledy otvorené projekty, čo umožňuje používateľovi rýchlo otvoriť projekt, na ktorom sa nedávno pracovalo.

Edit: Táto možnosť sa používa na zadávanie a úpravu údajov.

<i>Geometric Data</i>	Zadávanie všetkých geometrických dát.
<i>Steady Flow Data</i>	Údaje pre riešenie ustáleného prúdenia.
<i>Quasi Unsteady Flow ...</i>	Údaje pre riešenie kvázi-neustáleného prúdenia.
<i>Unsteady Flow Data</i>	Údaje pre riešenie neustáleného prúdenia.
<i>Sediment Data</i>	Údaje pre riešenie pohybu splavenín.
<i>Water Quality Data</i>	Údaje pre riešenie stavu kvality vody.

Run: Táto možnosť sa používa na vykonávanie hydraulických výpočtov.

<i>Steady Flow Analysis</i>	Spustenie výpočtu ustáleného prúdenia.
<i>Unsteady Flow Analysis</i>	Spustenie výpočtu neustáleného prúdenia.
<i>Sediment Analysis</i>	Spustenie výpočtu pohybu splavenín.
<i>Water Quality Analysis</i>	Spustenie výpočtu stavu kvality vody.
<i>Hydraulic Design Functions</i>	Navrhovanie objektov a úprav korýt.
<i>Run Multiple Plans</i>	Spustenie viacerých plánov.
<i>Uncertainty Analysis</i>	Analýza neistôt.

View: Táto možnosť obsahuje sadu nástrojov, ktoré poskytujú grafické a tabuľkové zobrazenie výstupu modelu.

<i>Cross sections</i>	Vykreslenie priečných profilov.
<i>Water Surface Profiles</i>	Vykreslenie pozdĺžnych profilov.
<i>General Profile Plot</i>	Vykreslenie všetkých výstupov simulácie.
<i>Rating Curves</i>	Merné krivky profilov.
<i>X-Y-Z Perspectiv Plots</i>	Priestorové vykreslenie koryta.
<i>Stage and Flow Hydrographs</i>	Hladinové a prietokové hydrogramy.
<i>Hydraulic Property Tables</i>	Tabuľkové výstupy hydraulických charakteristík.
<i>Detailes Output Tables</i>	Podrobné tabuľkové výstupy pre jednotlivé profily.
<i>Profile Summary Tables</i>	Prehľadné tabuľkové výstupy pre jednotlivé profily.

Summary Err, Warm, Notes
DSS Data

Prehľad chýb a upozornení.
Data Storage System údaje.

DSS je špeciálny formát súboru používaný na ukladanie časových radov hydrologických dát. Umožňuje modelom, ako je HEC-RAS, efektívne spracovávať veľké množstvo údajov.

Options: Položky v tejto ponuke umožňujú používateľovi:

<i>Program Setup</i>	Nastavenie programu.
<i>Default Parameters</i>	Nastavenie parametrov.
<i>Unit system (US Customary/SI)</i>	Nastavenie jednotkového systému (imperial/metric).
<i>Convert Project Units</i>	Prevod jednotkového systému.
<i>Convert Horizontal Coordinate Sys</i>	Prevod súradnicového systému.

GIS Tools:

<i>RAS Mapper</i>	Táto položka umožňuje používateľovi prejsť do prostredia HEC-RAS Mapper, ktoré možno použiť na vytváranie modelov terénu, zobrazovanie záplavových máp, vykonávať dynamické animácie záplav spolu s ďalšími vrstvami mapovania.
-------------------	---

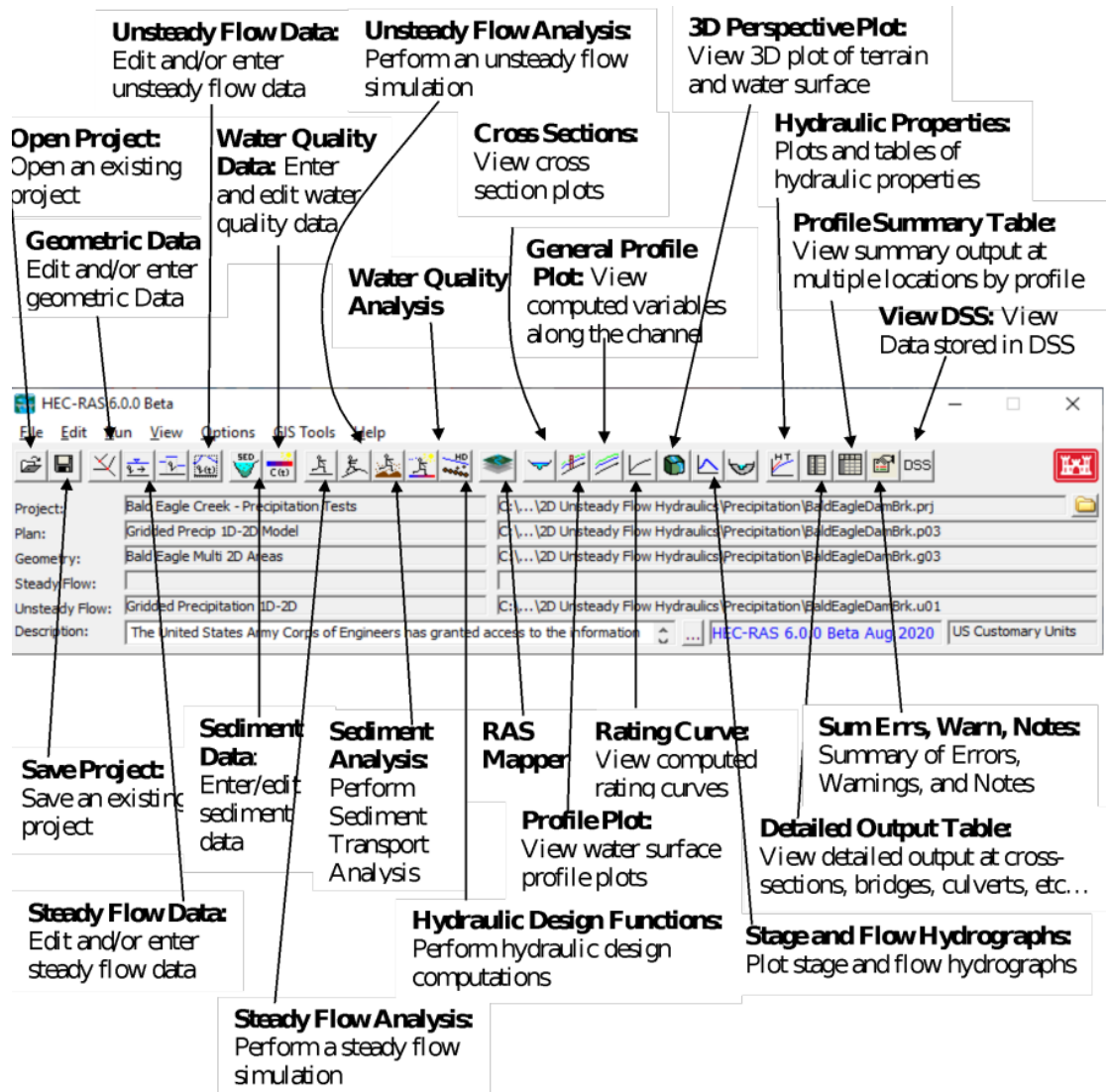
Help:

<i>Users Manual</i>	Užívateľská príručka.
<i>2D Modeling Users Manual</i>	Užívateľská príručka 2D simulácie.
<i>Hydraulic Reference</i>	Referenčná príručka hydrauliky.
<i>Application Guide</i>	Sprievodca aplikáciou.
<i>Release Notes</i>	Oznámenia o verzii.
<i>Install Example Projects</i>	Inštalácia ukážkových príkladov.
<i>HEC-RAS Webpage</i>	Stránka programu HEC-RAS.
<i>Release Notes</i>	Oznámenia o aktuálnej verzii HEC-RAS-u.
<i>Mannings n Reference Online</i>	Príručka výberu Manningovho súčiniteľa.
<i>View Terms and Conditions of Use</i>	Podmienky používania HEC-RAS-u.
<i>About HEC-RAS</i>	Informácie o aktuálnej verzii HEC-RAS-u.

V hlavnom okne HEC-RAS sa nachádza lišta s tlačidlami (Obr. 5.9), ktorá poskytuje rýchly prístup k najčastejšie používaným príkazom. Popis každého tlačidla je znázornený na obrázku nižšie.

Pri vytváraní hydraulického modelu pomocou HEC-RAS existuje päť hlavných krokov:

- Vytvorenie nového projektu
- Zadávanie geometrických údajov
- Zadávanie údajov o toku a okrajových podmienok
- Vykonávanie hydraulických výpočtov
- Zobrazenie výsledkov



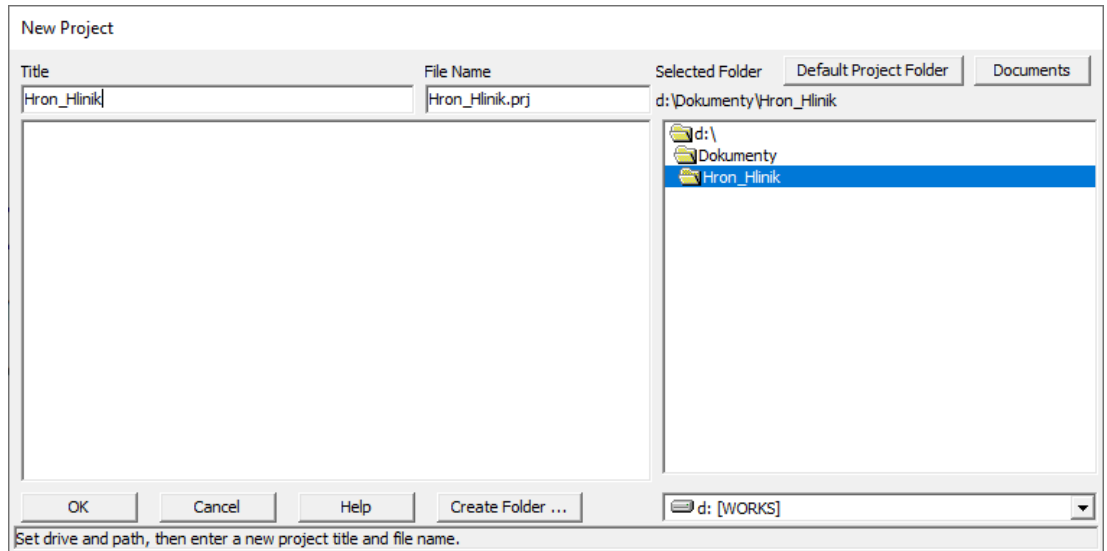
Obr. 5.9 Tlačidlová lišta hlavného okna HEC-RAS

(Zdroj: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest/working-with-hec-ras>)

5.2.1.1 Vytvorenie nového projektu

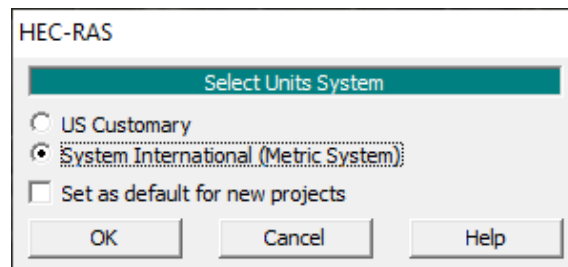
Prvým krokom pri vývoji hydraulického modelu v HEC-RAS je určiť, v ktorom adresári bude nový projekt umiestnený a zadať názov nového projektu. Pre vytvorenie nového projektu, používateľ v ponuke **File** v hlavnom okne HEC-RAS vyberie položku **New Project**. Zobrazí sa okno „New Project“, ako je znázornené na Obr. 5.10. Používateľ najprv vyberie jednotku a cestu umiestnenia projektu, potom zadá názov **Title** projektu. V predmetnom prípade výpočtu ustáleného prúdenia na Hrone v úseku Hliník nad Hronom to môže byť napr. „Hron_Hlinik“ a názov súboru projektu **File Name** napr. „Hron_Hlinik.prj“. Názov súboru projektu musí mať príponu *.prj. Po zadaní všetkých informácií používateľ stlačí tlačidlo **OK**, aby boli informácie prijaté. Po stlačení tlačidla **OK** sa zobrazí okno so správou s názvom projektu a adresárom, v ktorom bude projekt umiestnený. Ak sú tieto informácie správne, používateľ stlačí tlačidlo **OK**.

Ak informácie nie sú správne, používateľ stlačí tlačidlo **Cancel**, ktoré ho vráti späť do okna New Project.



Obr. 5.10

Pred zadaním geometrických údajov a údajov o toku by mal používateľ vybrať systém jednotiek (imperiálny alebo metrický systém), v ktorom chce pracovať. Nastavenie systému jednotiek pre projekt sa vykonáva výberom položky **Unit system (US Customary/SI)** z ponuky **Options** v hlavnom okne HEC-RAS. V prípade, že chce užívateľ pracovať v metrickom systéme, zvolí sa možnosť **System International (Metric System)**.

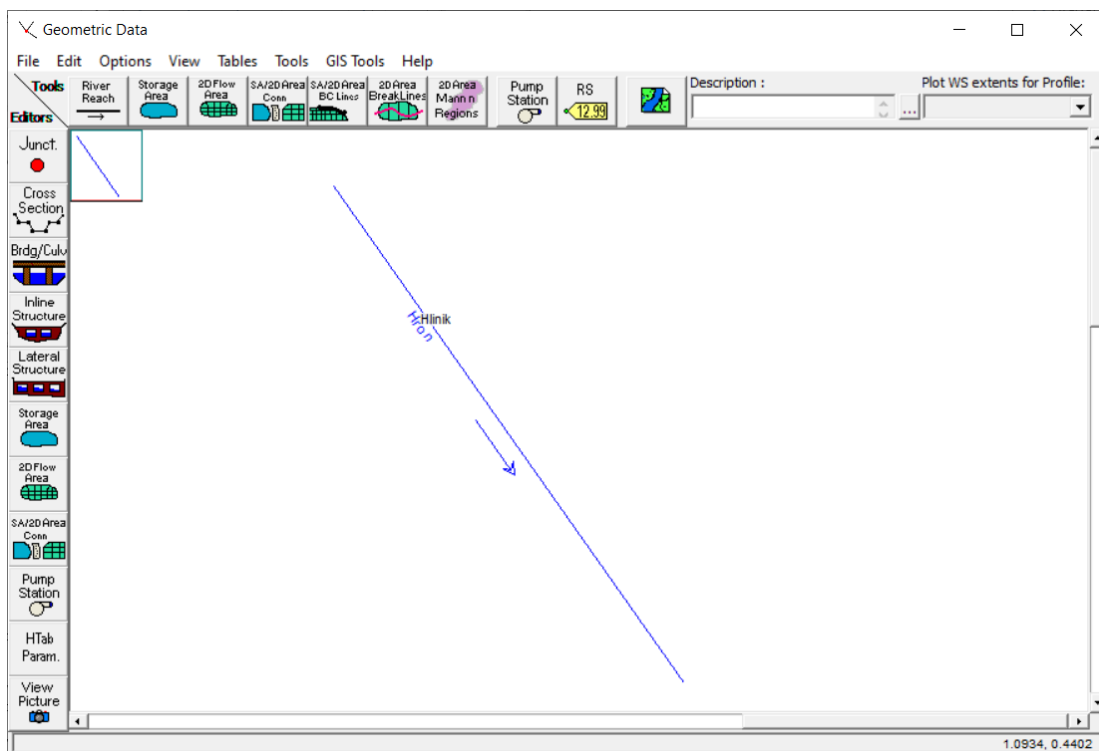


Obr. 5.11

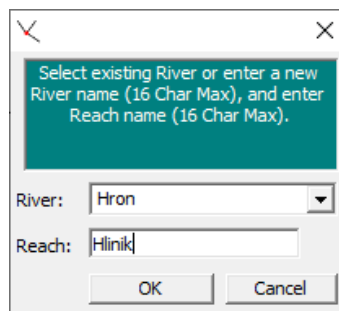
5.2.1.2 Zadávanie geometrických údajov

Okno pre zadávanie a editovanie je možné otvoriť výberom položky **Geometric Data** z ponuky **Edit**, alebo ikonou  na tlačidlovej lište (Obr. 5.9). Po výbere tejto možnosti sa zobrazí okno „Gemetric Data“ (Obr. 5.12). V prípade, že je okno vyvolané pre nový projekt, bude prázdne.

Používateľ vytvára geometrické údaje v HEC-RAS tak, že najprv nakreslí pomocou myši schému riečneho systému. To sa dosiahne stlačením tlačidla **River Reach**  a následným definovaním začiatočného (klik) a koncového (dvojklik) bodu úseku (smere prúdenia toku). Po nakreslení úseku je používateľ vyzvaný na zadanie názvu rieky **River name**, napr. „Hron“ a názvu úseku **Reach name** napr. „Hlinik“, ktoré môžu mať dĺžku až 16 znakov (Obr. 5.13).



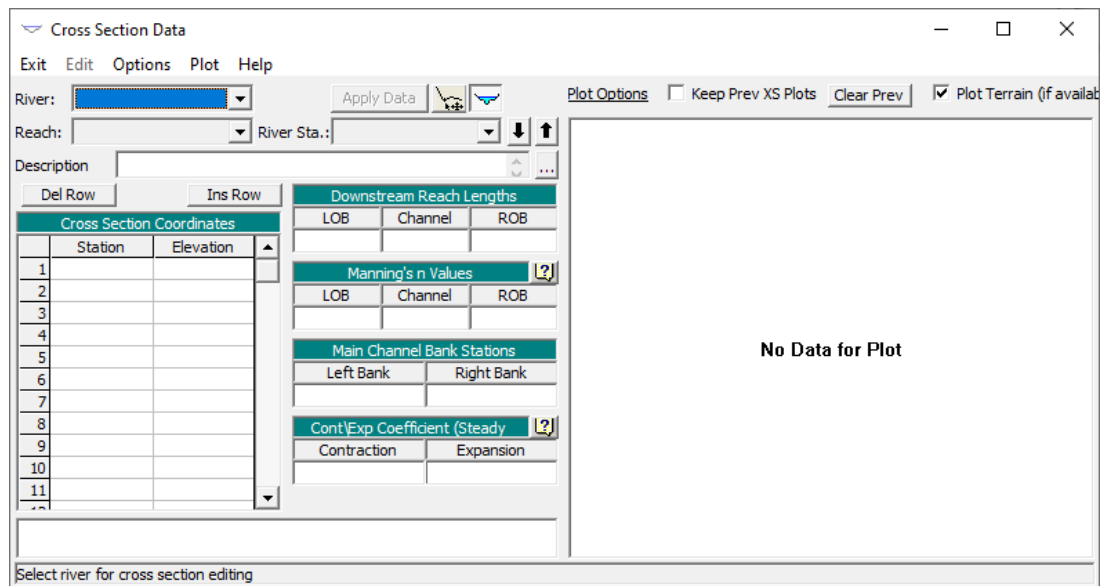
Obr. 5.12 Okno pre zadávanie schémy riečneho systému



Obr. 5.13 Okno pre zadávanie identifikátorov riečneho systému

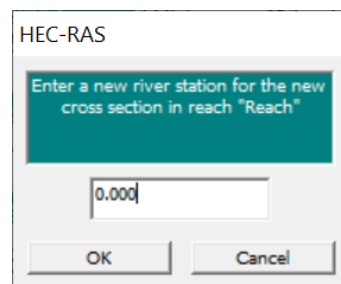
Geometrické dáta je potrebné následne uložiť výberom položky **Save Geometry Data** v ponuke **File**. Názov súboru obsahujúceho geometrické dáta má príponu *.g01 a nemusí mať názov totožný s názvom projektu.

Po nakreslení schémy riečneho systému (Obr. 5.12) môže používateľ zadávať údaje o priečných rezoch (profiloch) koryta. Po stlačení tlačidla **Cross Section** sa zobrazí okno „Cross Section Data“ (Obr. 5.14). Každý priečný profil má identifikátory umiestnenia **River**, **Reach**, **River Station** a slovný popis priečného profilu **Description**.



Obr. 5.14 Okno pre zadávanie parametrov priečného profilu

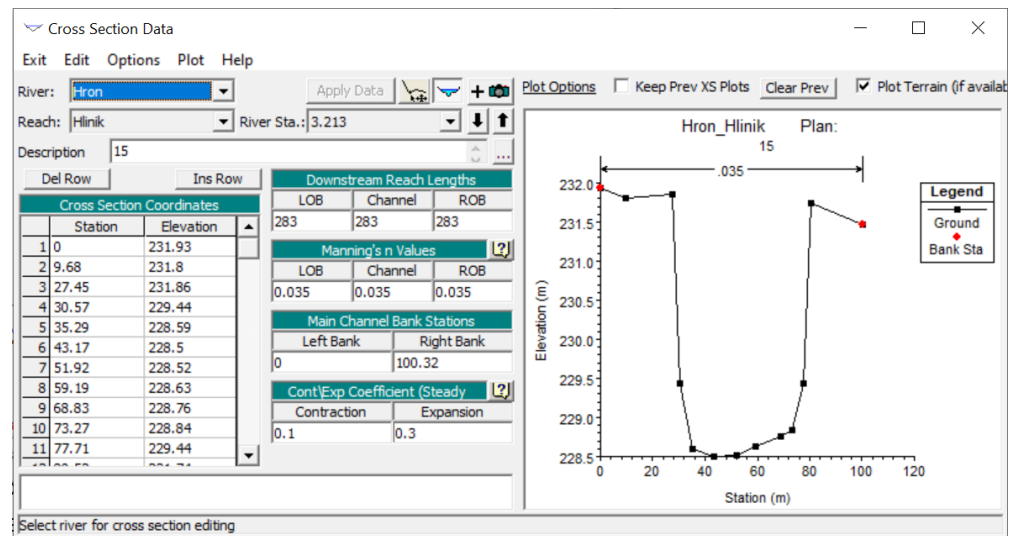
Na vloženie nového priečného profilu sa v ponuke **Options** vyberie položka **Add New Cross Section...** Ako prvá sa zadáva v kolónke **River Station** staničenie profilu, väčšinou v kilometroch, resp. v riečnych kilometroch (Obr. 5.15).



Obr. 5.15 Okno pre zadávanie staničenia priečného profilu

Identifikátor **River Station** nemusí byť skutočná hodnota staničenia toku, ale je možné zadať aj relatívnu hodnotu staničenia, v ktorom sa profil nachádza. HEC-RAS pritom vyžaduje, aby zmysel staničenia (od najmenšieho po najväčšie) bol v smere proti prúdu. Na základe staničenia ostatných profilov program zaradí novo vkladany profil do databázy priečných profilov a vykreslí ich do obrázku schématickej riečnej schémy (Obr. 5.18). Vzdialenosť medzi priečnymi profilmi, ktorá je použitá pri vlastnej simulácii prúdenia však nie je odvodená od zadaného staničenia, ale zadáva sa na samostatnom mieste, v položke **Downstream Reach Lengths**.

V okne „Cross Section Data“ sa postupne zadávajú jednotlivé body omočeného obvodu priečného profilu a to v smere od ľavého po pravý breh. Zadávanie jednotlivých bodov je realizované pomocou súradníc (vodorovné súradnice v [m] – **Station**, výškové súradnice v [m], resp. [m n.m.] – **Elevation**). Štandardne je pre zadanie jedného priečného profilu nastavených maximálne 100 bodov. V rámci ponuky **Options** je však možné tento počet operatívne zmeniť.



Obr. 5.16 Príklad zadaného priečného profilu – Profil 15, km 3,213

Vzdialenosť aktuálneho profilu k ďalšiemu profilu v [m] v smere prúdenia toku sa zadáva v položke **Downstream Reach Lengths**, a to samostatne pre ľavú časť inundácie – **LOB**, hlavné koryto – **Channel** a pravú časť inundácie – **ROB**.

V položke **Main Channel Bank Stations** sa zadávajú vodorovné súradnice bodov oddelujúce hlavné koryto od inundácie alebo v prípade jednoduchého profilu súradnice ľavého **Left Bank** a **Right Bank** pravého brehu (na Obr. 5.16 sú tieto body označené červenou). V prípade, že hodnota zadanej súradnice nezodpovedá niektorému z vyššie uvedených bodov, program vykoná lineárnu interpoláciu.

V položke **Manning's n Values** (Manningov súčiniteľ drsnosti – n) je nutné mať zadané minimálne hodnotu súčiniteľa v ľavej časti inundácie, v hlavnom koryte a v pravom časti inundácie. Pre predmetný úsek Hrona (t. j. prirodzený hlavný tok) je možné podľa [38] zadať hodnotu Manningovho súčiniteľa drsnosti = 0.035.

V položke **Cont\Exp Coefficients** je možné zmeniť hodnoty súčiniteľov miestnych strát pre náhle zúženie (**Contraction**) a rozšírenie (**Expansion**). Automaticky sa tu však objavujú defaultné hodnoty 0.1 a 0.3. Zadané údaje uložíme pomocou tlačidla **Apply Data**, umiestneného nad položkou **River Sta.** V ponuke **Edit** sú k dispozícii štandardné funkcie editácie celých priečných profilov pomocou položiek **Cut**, **Copy**, **Paste** a funkcie **Delete...** a **Insert...** umožňujúce mazanie a vkladanie riadkov v položke **Cross Section Coordinates**.

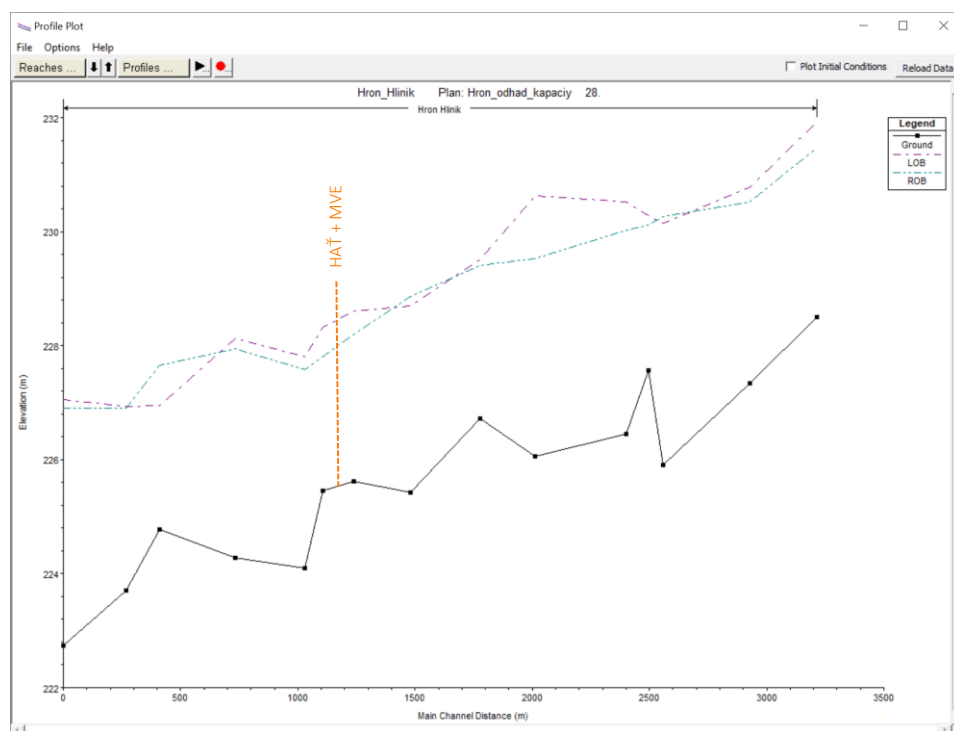
Ďalšie funkcie priečného profilu sú dostupné v položke **Options** predmetného okna.

Pri zadávaní geometrických údajov je vhodné tieto priebežne ukladať pomocou položky **Save Geometry Data** v ponuke **File** v okne „Geometric Data“.

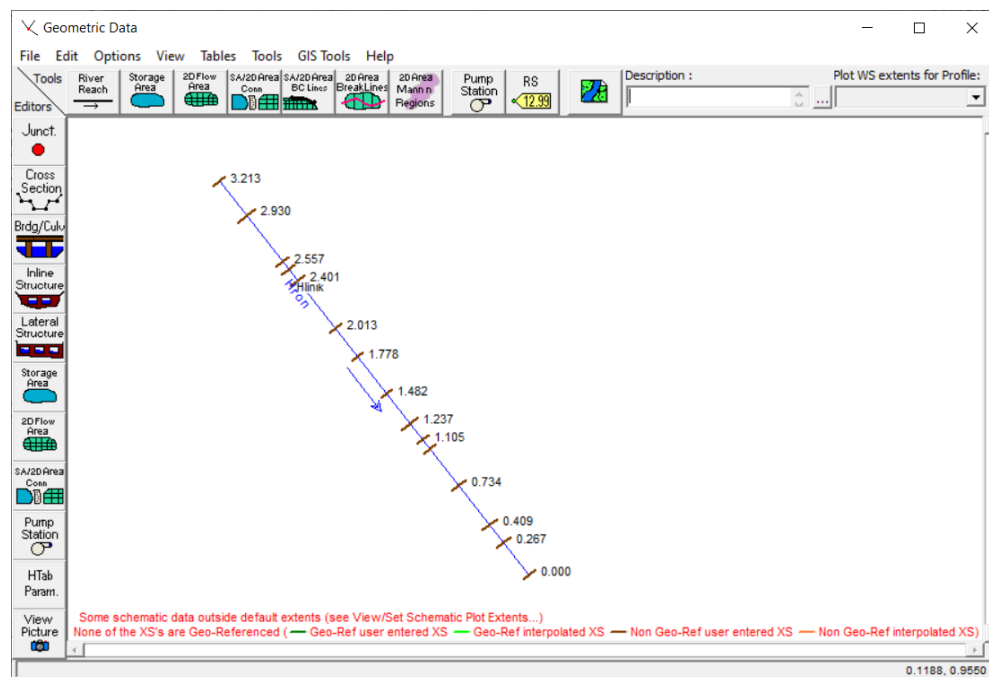
V okne „Cross Section Data“ sú v ponuke **Plot** k dispozícii možnosti vykreslenia ktoréhokoľvek priečného profilu pomocou položky **Plot Cross Section...** alebo pozdĺžneho profilu pomocou položky **Plot profile...** (Obr. 5.17). Možnosti vykreslenia sa dajú modifikovať v rámci okna „Profile Plot“ v položke **Variables...** v ponuke **Options**.

Po zadaní údajov o priečných profiloch má používateľ v okne „Geometric Data“ (Obr. 5.12) možnosť pridať rôzne typy vodných stavieb, ako sú napr. mosty, priepusty, priehrady, hate

alebo prípady. Pre rôzne typy vodných stavieb sú k dispozícii editory údajov, podobne ako editor údajov priečných profilov. Bližšie na stránke [HEC-RAS User's Manual](#).



Obr. 5.17 Okno – pozdĺžny profil Hrona (Ground – dno koryta, LOB – ľavý breh, ROB – pravý breh) s vyznačením lokalizácie profilu hate s MVE (-----)



Obr. 5.18 Okno – schéma riečneho systému (River: Hron, Reach: Hlinik) s vykreslením 15 zameraných priečných profilov

5.2.1.3 Zadávanie okrajových podmienok simulácie

Okrem vytvorenia geometrického modelu predmetného úseku toku je pre samotnú simuláciu nerovnomerného prúdenia nutné zadať tzv. okrajové podmienky simulácie. Typ zadávaných okrajových podmienok závisí od typu simulácie, ktorá sa má vykonať. V predmetnom prípade ide o simuláciu ustáleného prúdenia (t. j. prúdenia, pri ktorom sa predpokladá, že celým simulovaným úsekom bude pretekať konštantný prietok). Formulár na zadávanie údajov pre ustálené prúdenie „Steady Flow Data“ (Obr. 5.19) je možné vyvolať pomocou položky **Steady Flow Data...** v ponuke **Edit** hlavného okna (Obr. 5.8) alebo ikonou  na tlačidlovej lište.

Obr. 5.19 Okno pre zadávanie údajov o ustálenom prúdení pre úsek Hlinik na rieke Hron

V poli **Enter/Edit Number of Profile (32000 max)** sa zadá počet simulácií (prietokov), ktoré chce používateľ v rámci výpočtu riešiť. Je nutné upozorniť, že v rámci programu HEC-RAS nemá slovo **PROFILE** význam priečného ani pozdĺžneho profilu, ale používa sa pre označenie jednej sady dát okrajových podmienok. Po zadaní počtu *Profiles* a jeho potvrdení tlačidlom **Apply Data** sa v položke **Profile Names and Flow Rates** automaticky vygeneruje príslušný počet polí pre zadávanie prietoku v hornom profile predmetného úseku toku. Každý *Profile* je automaticky označený ako PF 1, PF 2 atď. Premenovanie je možné pomocou položky **Edit Profiles Names...** v ponuke **Options**.

V prípade stanovenia kapacity koryta bolo pre predbežný výpočet zvolených 5 sád okrajových podmienok (t. j. **5 Numbers of Profiles**). Hodnoty hornej okrajovej podmienky (t. j. hodnoty ustáleného prietoku v hornom priečnom profile úseku „Hlinik“ (River Station (RS) = 3.213) boli zvolené v rozmedzí 10 až 300 m³.s⁻¹. Vložené údaje o ustálenom prúdení je potrebné uložiť do samostatného súboru pomocou položky **Save Flow Data** v ponuke **File**. V predmetnom prípade boli údaje uložené do súboru „10_300.f01“.

Dolná okrajová podmienka (t. j. okrajová podmienka v priečnom profile 1 (rkm 0.000) – pozri Obr. 5.5) sa volí stlačením tlačidla **Reach Boundary Conditions...** Po použití tohto príkazu sa zobrazí okno „Steady Flow Boundary Conditions“ (Obr. 5.20). Model HEC-RAS ponúka niekoľko typov dolnej okrajovej podmienky.

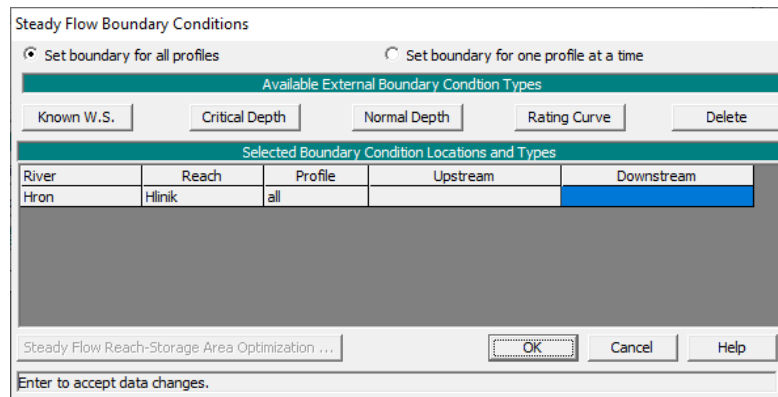
Known W.S.	Známa úroveň hladiny v dolnom priečnom profile pre riešený prietok.
Critical Depth	Kritická hĺbka v dolnom profile.
Normal Depth	Na základe zadania sklonu hladiny v úseku bezprostredne nadväzujúcom po prúde na modelovaný úsek (t. j. nie sklon hladiny v modelovanom

Rating Curve
Delete

úseku) bude vypočítaná za predpokladu rovnomerného prúdenia merná krivka priečného profilu 1 (rkm 0.000).

Zadanie závislosti hĺbky vody v dolnom profile na prietoku (merná krivka).

Vymazanie okrajovej podmienky.



Obr. 5.20 Okno pre zadávanie okrajových podmienok

V predmetnom výpočte kapacity koryta Hrona bola použitá dolná okrajová podmienka **Normal Depth**. Stlačením príslušného tlačidla sa aktivuje okno (Obr. 5.21) na zadanie sklonu hladiny. Predpokladá sa pritom, že je to sklon hladiny v úseku bezprostredne nadväzujúcom po prúde na modelovaný úsek. Napriek tomu, že v prirodzených tokoch predpoklad ustáleného rovnomerného prúdenia, kvôli neustálej zmene veľkosti a tvaru priečných profilov, takmer nikdy úplne neplatí, je možné uvažovať, že sklon hladiny S sa rovná sklonu dna koryta. V prípade, že úsek nadväzujúci po prúde na modelovaný úsek nie je zameraný, je nutné jeho sklon odhadnúť, napr. pomocou topografickej mapy tak, že sa nájdu miesta, kde vrstevnice pretínajú tok rieky a zmeria sa vzdialenosť pozdĺž toku medzi nimi. Vzhľadom na to, že pri riešení predmetnej úlohy nie je úsek nadväzujúci po prúde na modelovaný úsek zameraný a ani nie je možné z dostupných topografických podkladov stanoviť približný sklon úseku, je s určitou mierou pravdepodobnosti možné zaviesť predpoklad, že nadväzujúci úsek bude mať sklon približný priemernému sklonu modelovaného úseku a je ho možné vypočítať podľa vzťahu:

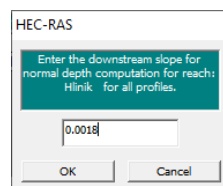
$$S = \frac{K_H - K_D}{l_{Reach}} = \frac{228.5 - 222.74}{3213} = 0.0018 [-] \quad (5.1)$$

kde:

K_H – je kóta dna horného priečného profilu; River St. 3.213 = 228.50 m n.m.,

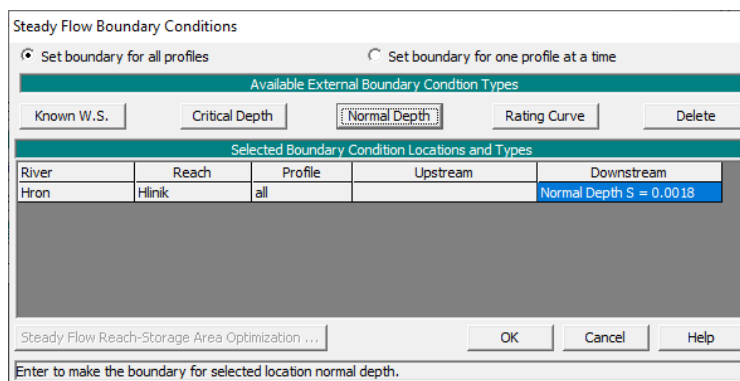
K_D – kóta dna dolného priečného profilu; River St. 0.000 = 222.74 m n.m.,

l_{Reach} – dĺžka predmetného úseku Hrona [m] = 3213 m.



Obr. 5.21 Okno pre zadanie sklonu hladiny

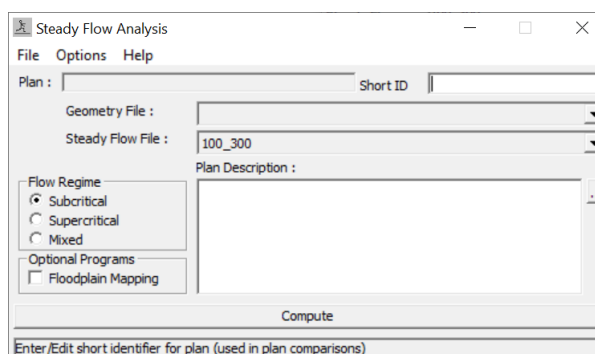
Zadaná hodnota sklonu hladiny sa automaticky zapíše do okna „Steady Flow Boundary Conditions“ (Obr. 5.22). Po stlačení tlačidla **OK** je potrebné vložené údaje opäť uložiť do samostatného súboru pomocou položky **Save Flow Data** v ponuke **File**.



Obr. 5.22

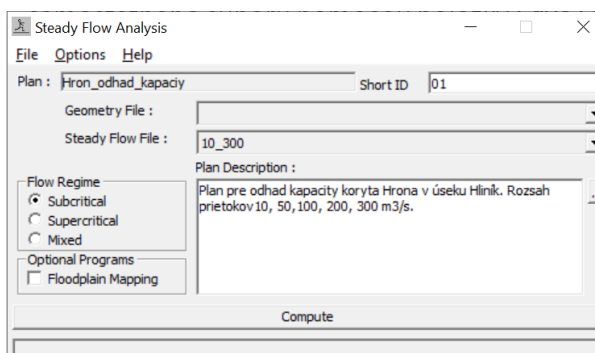
5.2.1.4 Simulácia nerovnomerného prúdenia

Základné okno pre prípravu a spustenie simulácie ustáleného prúdenia „Steady Flow Analysis“ (Obr. 5.23) je možné otvoriť v hlavnom okne HEC-RAS pomocou položky **Steady Flow Analysis** v ponuke **Run** alebo ikonou  na tlačidlovej lište.



Obr. 5.23 Okno pre spustenie simulácie

Ako prvé je potrebné vytvoriť pomocou položky **New Plan** v ponuke **File** tzv. PLAN, napr. „Hron_odhad_kapacity.p01“.

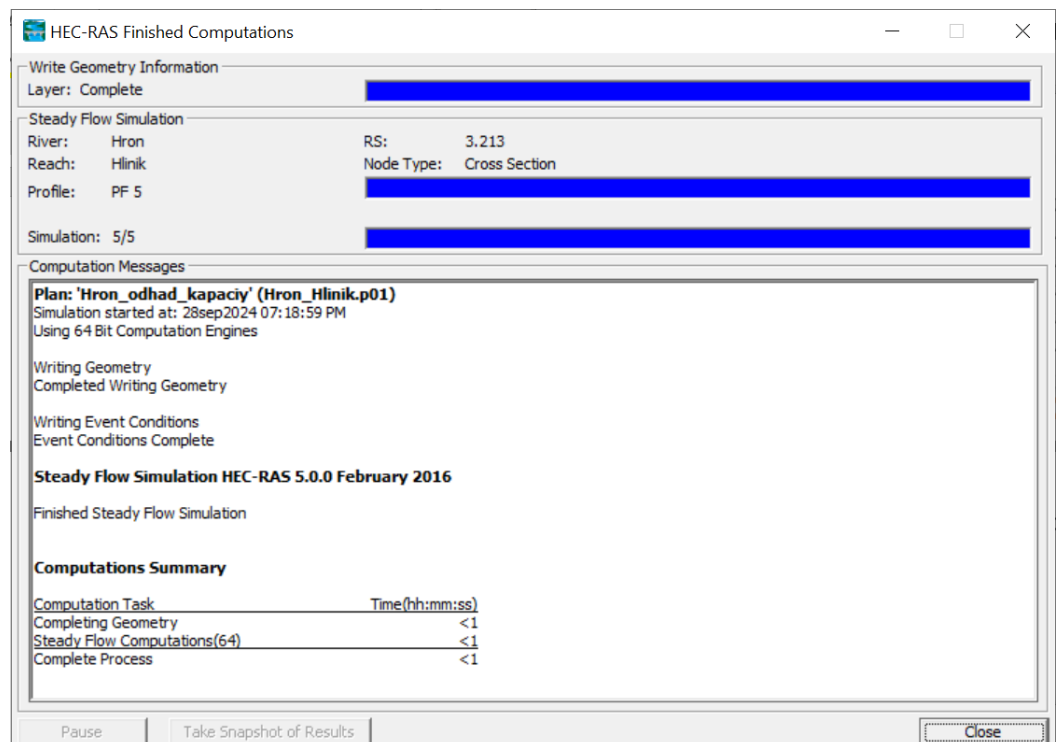


Obr. 5.24 Okno pre spustenie simulácie – Plan: Hron_odhad_kapacity

V kolónke **Short ID** je možné zadať identifikátor plánu a v **Plan Description** aj slovný popis plánu (Obr. 5.24). PLAN má v prípade HEC-RAS význam kombinácie súboru s geometrickými dátami a súboru s dátami s okrajovými podmienkami. V uloženom „plan“ súbore sa potom nachádzajú všetky údaje potrebné k spusteniu simulácie ustáleného prúdenia.

Predpokladaný charakter prúdenia sa nastavuje vo **Flow Regime**. HEC-RAS umožňuje riešiť prúdenie riečne (**Subcritical**), bystrinné (**Supercritical**) a aj zmiešané (**Mixed**).

Samotná simulácia ustáleného prúdenia sa spustí tlačidlom **Compute**.



Obr. 5.25 Okno simulácie

Pri simulácii sa zobrazí okno s názvom „HEC-RAS Computation“. Po skončení simulácie sa objaví v okne kompletný report výpočtu a názov okna sa zmení na „HEC-RAS Finished Computations“ (Obr. 5.25).

V súvislosti s vyššie uvedeným je nutné poznamenať, že kľúčovými krokmi pri zabezpečení spoľahlivosti a presnosti simulácie prúdenia vody sú **kalibrácia** a **verifikácia** modelu.

Kalibráciou modelu sa pritom rozumie úpravu vstupných parametrov modelu tak, aby výsledky simulácie čo najviac zodpovedali reálnym pomerom v teréne. Pre vyššie uvedenú simuláciu je to najmä úprava Manningovho súčiniteľa drsnosti, resp. úprava sklonu hladiny S v úseku nadväzujúcom po prúde na modelovaný úsek predstavujúceho dolnú okrajovú podmienku simulácie (pozri Kap. 5.2.1.3). Kalibrácia je dôležitá preto, lebo nie všetky vstupné parametre modelu je možné zmerať priamo alebo s dostatočnou presnosťou. Bez kalibrácie by model nemusel odrážať reálne hydraulické pomery, čo by viedlo k chybným záverom.

Verifikácia modelu je proces, pri ktorom sa overuje, či kalibrovaný model dokáže správne simulovať prúdenie aj za iných podmienok, ako boli použité počas kalibrácie. Typicky sa použijú

iné dátové súbory, ktoré neboli použité pri kalibrácii modelu. Cieľom verifikácie je potvrdiť, že model nie je „predučený“ len na konkrétny prípad, ale je schopný generalizovať svoje výpočty aj na iné situácie. Dobře verifikovaný model môže byť následne použitý ako dôveryhodný nástroj pre simuláciu rôznych scenárov – napríklad extrémnych povodní, vplyvu vodných stavieb alebo zmien v krajine. Vzhľadom na obmedzený rozsah týchto skriptov proces kalibrácie a verifikácie predmetného modelu nie je v ďalšom texte uvedený.

5.2.1.5 Zobrazenie výsledkov

Program HEC-RAS ponúka široké možnosti zobrazenia a prezentácie výsledkov, ktoré je možné otvoriť z hlavného okna HEC-RAS pomocou ponuky **View**. Napr.:

Cross-sections...	Grafická prezentácia priečných profilov.
Water Surface Profiles...	Grafická prezentácia pozdĺžnych profilov.
Rating Curves...	Grafická prezentácia merných kriviek.
X-Y-Z Perspective Plots...	Grafická prezentácia priestorového zobrazenia.
Detailed Output Tables...	Tabelárne zobrazenie výstupov pre priečne profily.
Profile Summary Table...	Tabelárne zobrazenie výstupov pre celé úseky, v ktorom je možné pomocou položky Define Table... v ponuke Options , definovať obsah tabuľky výsledných hodnôt.

5.2.2 Stanovenie kapacity koryta (korytového prietoku – Q_{KOR})

Na Obr. 5.26 je zobrazený pozdĺžny profil predmetného úseku toku Hrona so škálou vypočítaných priebehov hladín (Water Surface) pre ustálené prietoky 10, 50, 100, 200 a 300 m³.s⁻¹ (vykreslené modrou plnou čiarou). Z výsledkov je zrejmé, že kritickým úsekom pre vybreženie vody z koryta je úsek v blízkosti profilu 14 (River St. 2.930) – **vyznačené fialovou**. V tomto mieste by s najväčšou pravdepodobnosťou voda po prekročení prietoku 200 m³.s⁻¹ „vystúpila“ z koryta do pravobrežnej inundácie.

V zmysle vyššie uvedeného je kapacita koryta (korytový prietok) na tomto úseku toku Hrona $Q_{KOR} = 200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

5.2.3 Stanovenie maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou – K_{max}

Uvažovaná hať spolu s MVE má byť lokalizovaná zhruba medzi priečnym profilom 6 a 7 (Obr. 5.5 a Obr. 5.26). Hladinu v tomto profile pri prietoku $Q_{KOR} = 200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ je možné vypočítať pomocou lineárnej interpolácie, resp. ako aritmetický priemer zo vzťahu:

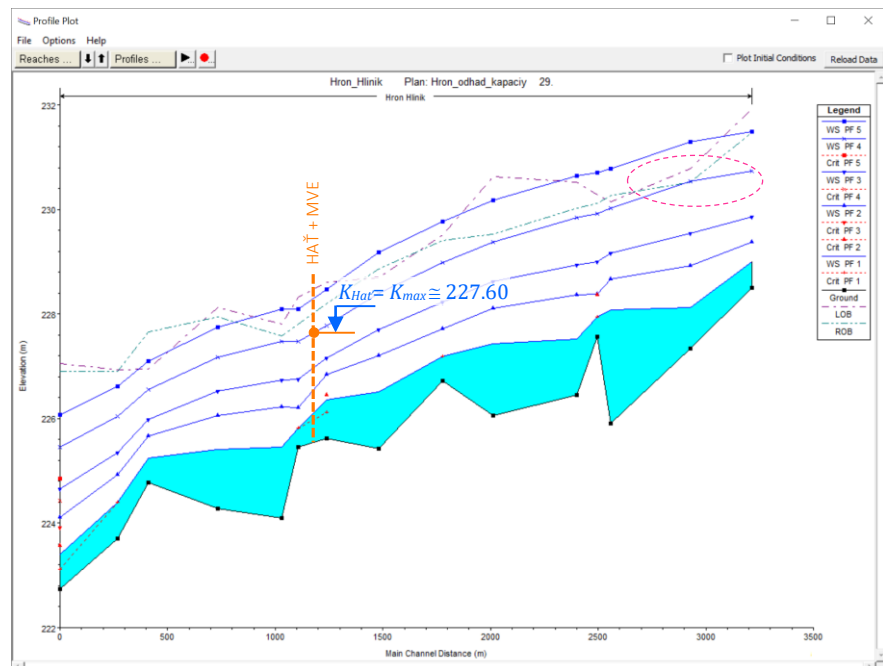


$$K_{Hať} = \frac{1}{2}(K_6 + K_7) = \frac{1}{2}(227.48 + 227.77) = 227.62 \cong 227.60 \text{ m n. m.} \quad (5.2)$$

kde:

- K_6 – je kóta hladiny pri korytovom prietoku v priečnom profile 6 = 227.48 m n.m.,
- K_7 – kóta hladiny pri korytovom prietoku v priečnom profile 7 = 227.77 m n.m.

V zmysle vyššie uvedených predpokladov bude maximálna prevádzková hladina (hladina normálneho vzdutia) nad uvažovanou haťou $K_{max} = K_{Hať} = 227.60 \text{ m n. m.}$



Obr. 5.26 Okno – prezentácia výsledkov simulácie v pozdĺžnom reze s vyznačením kritického úseku pre vybreženie vody z koryta (---) a lokalizácie hate + MVE (.....)

5.2.4 Stanovenie návrhového prietoku hate – Q_n

Z Tab. 5.1 je zrejmé, že hodnota kapacity koryta nedosahuje ani veľkosť prietoku Q_1 . Povodňové prietoky nad kapacitu koryta budú vybrežovať do inundácie tak, ako doteraz. Po výstavbe hate budú tieto prietoky hať a zároveň celý stupeň obtekať cez inundáciu, pričom deliace piliere hate môžu byť dokonca prelievané. V takomto prípade sa za najvhodnejší pohyblivý uzáver hate považuje – **zavesená** alebo **podopretá klapka**. Čo sa však týka samotnej strojovne MVE, tak vstupy do nej musia byť vyvedené nad úroveň hladiny pri Q_{100} .

V zmysle vyššie uvedených predpokladov bude návrhový prietok hate rovný kapacite koryta, t. j. $Q_n = Q_{KOR} = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. To znamená, že kapacita hate by nemala byť menšia ako súčasná kapacita koryta pri maximálnej prevádzkovej hladine tresne nad haťou.

5.3 Minimálna prevádzková hladina

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, 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. 5.3). 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. Analogicky je možné postupovať aj v prípade pohyblivej hate. Minimálne „zanorenie“ horného obrysu (stropu) odberu h_s (v zmysle Obr. 5.3) je možné vypočítať na základe rôznych empirických vzťahov [37].



Úloha č. 2

Okrem hydroenergetického využitia vyššie uvedenej lokality (Obr. 5.4) má byť účelom výstavby hate aj trvalé zavzduťtie hladiny, ktoré zabezpečí celoročný odber vody z koryta Hrona pre využitie v obci Dolná Ždaňa. Odberný objekt má byť umiestnený na pravom brehu Hrona cca 50 m nad profilom prehradenia. Uvažuje sa s odberným objektom so symetrickým vtokom kruhového prierezu s priemerom 0.6 m. Kóta dolného obrysu (podlahy) odberu v mieste vtokového objektu je navrhnutá na kótu 225.50 m n. m. Maximálny odber sa uvažuje 200 l.s^{-1} .

Je potrebné stanoviť minimálnu úroveň hladiny stáleho vzdutia v haťovej zdrži (minimálna prevádzková hladina), pod ktorú nemá z dôvodu zabezpečenia celoročného odberu vody z koryta za bežnej prevádzky hladina v zdrži klesnúť ani pri minimálnych prietokoch.



1. krok riešenia úlohy č. 2:

Ako prvé je potrebné vypočítať minimálnu potrebnú hĺbku zanorenia horného obrysu (stropu) odberu, tak aby nedochádzalo k nasávaní vzduchu do odberu.

5.3.1 Výpočet minimálnej hĺbky zanorenia stropu odberu – h_s

Túto hodnotu je možné vypočítať napr. zo vzťahu podľa Gordona:



$$h_s = c v \sqrt{D} \text{ [m]} \quad (5.3)$$

kde:

c – je koeficient pre:

- pre nesymetrický tvar vtoku do odberu = 0.74245,
- pre symetrický tvar vtoku do odberu = 0.5434.

D – priemer odberu [m],

v – rýchlosť vody v odbernom objekte [m.s^{-1}] pri maximálnom odbere Q ; $v = \frac{4Q}{\pi D^2}$

g – gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}].



Výpočet:

$c = 0.5434$ (symetrický tvar vtoku)

$D = 0.6 \text{ m}$

$Q = 0,2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0.2}{\pi \cdot 0.6^2} = 0.71 \text{ m.s}^{-1}$

$g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$

$h_s = c v \sqrt{D} = 0.5434 \cdot 0.71 \cdot \sqrt{0.6} = 0.298 \approx 0.3 \text{ m}$

Minimálna potrebná hĺbka zanorenia horného obrysu (stropu) odberu $h_s = 0.3 \text{ m}$.



2. krok riešenia úlohy č. 2:

V zmysle vyššie uvedeného je potom minimálnu úroveň hladiny stáleho vzdutia v haťovej zdrži (minimálnu prevádzkovú hladinu v zdrži nad haťou – K_{min}) možné stanoviť na základe parametrov odberného objektu a vypočítanej hodnoty h_s .



5.3.2 Stanovenie minimálnej prevádzkovej hladiny v zdrži nad haťou – K_{min}

Výpočet:

$K_D = 225.50$ m n.m. (kóta dolného obrysu (podlahy) odberu)

$D = 0.6$ m (priemer odberu v profile vtokového objektu)

$$K_{min} = K_D + D + h_s = 225.50 + 0.6 + 0.3 = 226.40 \text{ m n.m.}$$

Najnižšia možná kóta minimálnej prevádzkovej hladiny v zdrži nad haťou $K_{min} = 226.40$ m. n.m.

Poznámka:

Aby sa zabránilo „strhávaniu“ splavenín do odberu malo by byť minimálne prevýšenie dolného obrysu (podlahy) odberu nad dnom koryta h_p (v zmysle Obr. 5.3) 0,5 až 0,75 m.



5.4 Návrh úpravy toku nad haťou

Úprava toku nad haťou môže zahŕňať rôzne opatrenia na zlepšenie odtokových, ekologických a technických podmienok v danej oblasti. Taktiež je potrebné klásť dôraz na to, aby bola v čo najväčšej miere zabezpečená udržateľnosť navrhnutých riešení. Bližšie je problematika konštrukčného návrhu opevnenia koryta pred haťou popísaná v Kap. 6.3.



Úloha č. 3

Je potrebné navrhnuť úpravu koryta nad haťou uvažovanou v lokalite Hliník nad Hronom na rieke Hron v zmysle Obr. 5.4.



Riešenie úlohy č. 3:

V zmysle postupu riešenia Úlohy č. 1 uvedeného v Kap. 5.2 sa pri návrhu úprav toku nad haťou vychádza z predpokladu v čo najväčšej miere zachovať odtokové a súčasne aj hydrobiologické podmienky v toku. Preto nie sú v úseku haťovej zdrže navrhované žiadne úpravy. V koryte tesne nad haťou sa v zmysle Kap. 6.3 navrhujú nevyhnutné stavebné úpravy, tak aby koryto toku plynulo nadväzovalo na vtokové krídla hate a dno koryta nadväzovalo v miernom sklone cca 1 ‰ na predpolia hate navrhované na kóte **225.00 m n. m.** (pozri Obr. 5.27).



5.5 Návrh úpravy toku pod haťou

Úpravy toku pod haťou vyžadujú starostlivé plánovanie na minimalizáciu negatívnych dopadov na životné prostredie, zlepšenie odtokových podmienok a zabezpečenie stability ekosystémov. Taktiež je potrebné klásť dôraz na to, aby bola v čo najväčšej miere zabezpečená udržateľnosť

navrhnutých riešení. Bližšie je problematika konštrukčného návrhu opevnenia koryta pod haťou popísaná v Kap. 6.2.



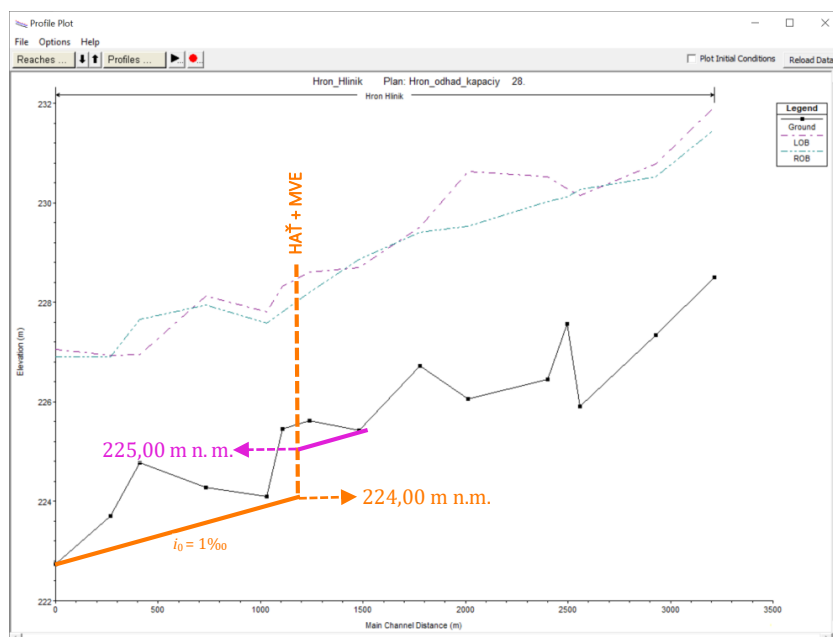
Úloha č. 4

Je potrebné navrhnuť úpravu koryta pod haťou uvažovanou v lokalite Hliník nad Hronom na rieke Hron v zmysle Obr. 5.4.



Riešenie úlohy č. 4:

Nielen s cieľom zvýšiť spád na uvažovanej MVE, ale aj s cieľom zlepšiť odtok cez profil hate, je pod haťou navrhované prehĺbenie dna koryta v dĺžke cca 1 km a v pozdĺžnom sklone $i_0 = 1 ‰$ (Obr. 5.27). Vzhľadom na parametre Hrona v tomto úseku je odpadové koryto hate navrhnuté lichobežníkového profilu so šírkou v dne 50 m, so sklonom svahov 1 : 2.5 a kótou dna pod haťou 224.00 m n. m. Vzhľadom na navrhované zmeny musí byť súčasťou riešenie stanovenie odtokových pomerov v odpadovom koryte pod haťou.



Obr. 5.27 Okno – pozdĺžny profil Hrona s vyznačením lokalizácie profilu hate s MVE (---), úpravy nivelety dna koryta nad haťou (___) a pod haťou (___)

5.5.1 Odtokové pomery v odpadovom koryte pod haťou

Súčasťou hydrotechnických výpočtov je aj stanovenie odtokových pomerov v odpadovom koryte hate. Výpočty súvisia najmä so stanovením mernej krivky prietokov odpadového koryta tesne pod haťou. Poloha hladiny pod haťou bezprostredne ovplyvňuje kapacitu hate a merná krivka slúži najmä na výpočty súvisiace s návrhom potrebnej šírky hate (Kap. 5.6.1).

Odtokové pomery v odpadovom koryte je možné stanoviť rôznym spôsobom. Jednou z možností je predpoklad, že v koryte pod haťou, tak ako u väčšiny prirodzených tokov, sa každá zmena šírky koryta, sklonu dna a každá prekážka prejaví na zmene prietocnej plochy

a sklone čiary energie, a teda aj na priebehu hladiny – ide o tzv. ustálené nerovnomerné prúdenie. V takomto prípade je možné postupovať v zmysle Kap. 5.2.1. Po zostavení geometrického modelu odpadového koryta (v zmysle riešenia úlohy č. 4), zadání okrajových podmienok a následnej simulácii, HEC-RAS umožňuje pomocou položky **Rating Curves...** v ponuke **View** v hlavnom okne HEC-RAS alebo ikonou  na tlačidlovej lište zobrazíť mernú krivku ľubovoľného priečného profilu. Tabelárne hodnoty je možné získať pomocou položky **Profile Summary Table...** alebo ikonou  na tlačidlovej lište.

Ďalšou z možností riešenia je predpoklad, že v prípade upravených tokov s konštantným priečnym profilom (koryto na dostatočne dlhom úseku nemení svoj tvar) a konštantným sklonom dna sa môže pri dlhodobejšom konštantnom prietoku v koryte „nastaviť“ tzv. ustálené rovnomerné prúdenie.



Úloha č. 5

Je potrebné stanoviť mernú krivku prietokov odpadového koryta v profile tesne pod haťou uvažovanou v lokalite Hliník nad Hronom na rieke Hron v zmysle Obr. 5.4 a v zmysle navrhnutej úpravy odpadového koryta pod haťou podľa Kap. 5.5.



Riešenie úlohy č. 5:

Vzhľadom na to, že pri navrhnutej úprave koryta pod haťou sa uvažuje s pravidelným konštantným priečnym profilom v konštantnom sklone dna, je možné pri stanovení mernej krivky prietokov pod haťou uvažovať s ustáleným rovnomerným prúdením.

5.5.1.1 Výpočet konzumpčnej mernej krivky koryta pod haťou

Konzumpčnú krivku odpadového koryta je možné podľa [19] vypočítať podľa Chézyho rovnice:



$$Q = C S \sqrt{R i} \text{ [m]} \quad (5.4)$$

kde:

- Q – je ustálený rovnomerný prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
- C – Chézyho rýchlostný súčiniteľ je možné vypočítať podľa vzťahu:



$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \text{ [m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5.5)$$

kde:

- n – je súčiniteľ drsnosti [-],
- R – hydraulický polomer je možné vypočítať podľa vzťahu:



$$R = \frac{S}{o} \text{ [m]} \quad (5.6)$$

kde S je prietokná plocha, ktorú je možné pre lichobežníkový priečný profil so šírkou v dne b v metroch a sklonom svahov $1 : m$ vypočítať podľa vzťahu:



$$S = (b + mh)h \text{ [m}^2\text{]} \quad (5.7)$$

kde:

- h – je hĺbka vody v koryte [m],
- O – omočený obvod [m],
- i – sklon čiar energie [-].

Pokiaľ konštantný prietok Q preteká rovnomerne konštantnou prietochou plochou S s konštantnou prierezovou rýchlosťou v a konštantnou hĺbkou h , potom je pozdĺžny sklon koryta i_0 zhodný so sklonom hladiny i_h a so sklonom čiar energie i . Na základe tohto predpokladu je možné pre ľubovoľnú hĺbku h v koryte vypočítať prietok Q , ktorý bude pri tejto hĺbke korytom pretekať.



Výpočet:

$n = 0.040$ (podľa [38] pre opevnenie dna a brehov lomovým kameňom)

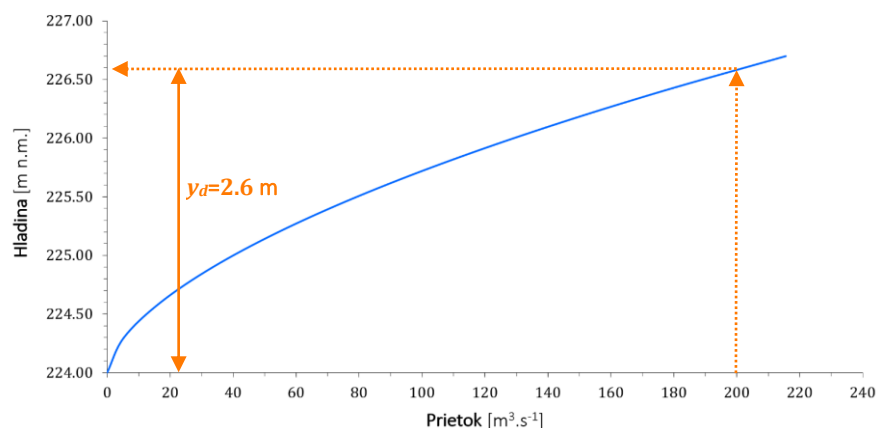
$i = 0.001$ ($i = i_0$)

$b = 50 \text{ m}$

$m = 2.5$

Tab. 5.4 Konzumpčná krivka odpadového koryta v profile tesne pod haťou

h [m]	[m n.m.]	S [m ²]	O [m]	R [m]	C [m ^{0.5} .s ⁻¹]	v [m.s ⁻¹]	Q [m ³ .s ⁻¹]
0.0	224.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0.3	224.30	15.23	51.62	0.29	20.40	0.35	5.3
0.6	224.60	30.90	53.23	0.58	22.83	0.55	17.0
0.9	224.90	47.03	54.85	0.86	24.37	0.71	33.5
1.2	225.20	63.60	56.46	1.13	25.50	0.86	54.4
1.5	225.50	80.63	58.08	1.39	26.40	0.98	79.3
1.8	225.80	98.10	59.69	1.64	27.16	1.10	108.0
2.1	226.10	116.03	61.31	1.89	27.80	1.21	140.3
2.4	226.40	134.40	62.92	2.14	28.37	1.31	176.2
2.7	226.70	153.23	64.54	2.37	28.88	1.41	215.6



Obr. 5.28 Konzumpčná krivka odpadového koryta hate v profile tesne pod haťou

Z výsledkov na Obr. 5.30 je zrejmé, že pri návrhovom prietoku hate $Q_n = 200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (pozri Kap. 5.2.4) bude hladina v odpadovom koryte v profile tesne pod haťou na kóte cca 226.50 m. n. m. Hĺbka vody v profile pod haťou pri tomto prietoku bude $y_d = 2.6 \text{ m}$.



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

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

5.6 Návrh počtu a šírky haťových polí

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 odporúča celkovú dĺžku priepadovej hrany rozdeliť na haťové polia **rovnakej svetlej (konštrukčnej/stavebnej) šírky** – b_1 (Obr. 5.31), v 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 $b_{1 \text{ OPT}} = 12$ až 18 m ,
- pre segmentové uzávery $b_{1 \text{ OPT}} = 15$ až 20 m ,
- pre stavidlové uzávery $b_{1 \text{ OPT}} = 18$ až 25 m ,
- pre valcové uzávery $b_{1 \text{ OPT}} = 18$ až 30 m ,
- pre hydrostatické uzávery $b_{1 \text{ OPT}} = 20$ 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 prevádzkanie ťadov a veľkých plávajúcich predmetov 12 m.

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

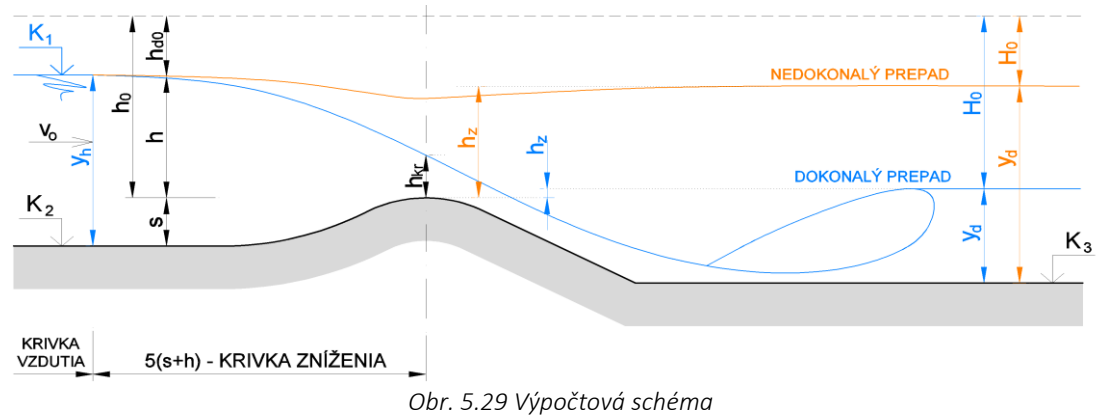
Odporúča sa aby pri návrhovom prietoku bola celková účinná prietokná plocha hate väčšia než **60 %** prietoknej plochy koryta. V prípade, že sa na splavnených tokoch predpokladá pri väčších prietokoch preplavovanie lodí niektorým haťovým poľom vyhradenej hate, navrhuje sa účinná prietokná plocha hate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



Úloha č. 6

Je potrebné navrhnuť počet a šírku polí hate uvažovanej v lokalite Hliník nad Hronom na rieke Hron v zmysle Obr. 5.4 a výpočtovej schémy Obr. 5.29. Pri riešení je potrebné vychádzať zo vstupných parametrov stanovených v Kap. 5.2.3 a v Kap. 5.2.4, t. j. maximálna prevádzková hladina nad haťou $K_1 = K_{\text{max}} = 227.60 \text{ m n. m.}$ a návrhový prietok hate $Q_n = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Upravené dno zdrže pred haťou je uvažované na kóte $K_2 = 225.00 \text{ m n. m.}$ (Kap. 5.4). Odpadové koryto hate je navrhnuté lichobežníkového profilu so šírkou v dne 50 m , so sklonom

svahov 1 : 2.5, s pozdĺžnym sklonom dna $i_0 = 1 \text{ ‰}$ a kótou dna pod haťou $K_3 = 224.00 \text{ m n. m.}$ (Kap. 5.5).



Obr. 5.29 Výpočtová schéma

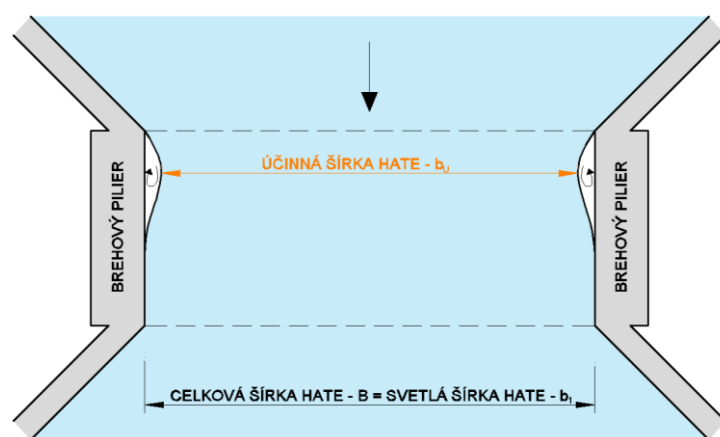
1. krok riešenia úlohy č. 6:

Ako prvé je potrebné vypočítať tzv. účinnú (efektívnu) šírku hate.

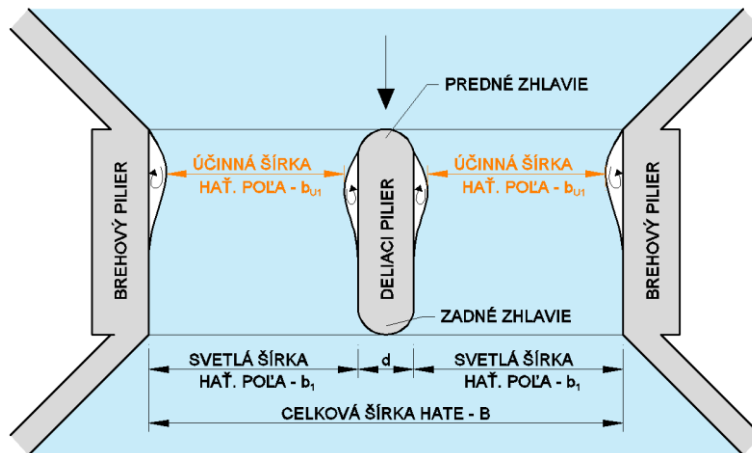
5.6.1 Výpočet účinnej (efektívnej) šírky hate – b_u

Účinná (efektívna) šírka hate – b_u je šírky koruny, resp. prahu hate, ktorá sa aktívne podieľa na prevádzaní prietoku – pozri Obr. 5.30 a Obr. 5.31. Pri hydrotechnickom výpočte účinnej šírky hate vychádzame v zmysle Obr. 5.29:

- z návrhového prietoku hate (pozri Kap. 5.2.4),
- z danej maximálnej prevádzkovej hladiny nad haťou (pozri Kap. 5.2.3), ktorá definuje prepádovú výšku,
- z výškovej polohy koruny pevnej hate, resp. pohyblivej hate,
- z tvaru koruny a priepadovej plochy,
- z hladiny vody pod haťou stanovenej z odtokových pomerov v odpadovom koryte (konzumpčná merná krivka prietokov) – Kap. 5.5.1.1.



Obr. 5.30 Schéma stanovenia účinnej šírky pre hať s jedným haťovým poľom



Obr. 5.31 Schéma stanovenia účinnej šírky pre hať s dvomi haťovými poľami

Pri výpočte celkovej **účinnnej (efektívnej) šírky hate** – b_U je možné vychádzať zo vzťahu:



$$b_U = \frac{3Q_n}{2\mu_p\sigma_z\sqrt{2gh_0^3}} \text{ [m]} \quad (5.8)$$

kde:

- Q_n – návrhový prietok hate [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] – pozri Kap. 5.1,
- μ_p – je prepadový súčiniteľ [-],
- σ_z – súčiniteľ zatopenia vyjadrujúci vplyv hladiny dolnej vody na kapacitu hate [-],
- g – gravitačné zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
- 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} – rýchlostná výška [m], ktorú je možné vypočítať podľa vzťahu:



$$h_{d0} = \frac{\alpha v_0^2}{2g} \text{ [m s}^{-1}] \quad (5.9)$$

kde:

- α – je Coriolisovo číslo (= 1.1),
- v_0 – prítoková rýchlosť v haťovej zdrži [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] – (pozri Kap. 5.6.1.2.)

Vzťah (5.8) pritom vychádza zo vzťahu pre výpočet kapacity hate (pozri Kap.5.7).



Výpočet:

- $Q_n = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (pozri Kap. 5.2.4)
- $\mu_p = 0.66$ (pozri Kap. 5.6.1.1)
- $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- $h = 2.20 \text{ m}$
- $s = 0.4 \text{ m}$ (pozri Kap. 5.6.1.1)

V prvom kroku výpočtu (v 1. odhade hodnoty b_U) sa nepredpokladá vplyv prítokovej rýchlosti na kapacitu hate, t. z., že $v_0 = 0 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow h_0 = h = 2.20 \text{ m}$. Ďalej sa nepredpokladá vplyv dolnej hladiny y_d na kapacitu hate, t. z. $\sigma_z = 1$.

$$b_U = \frac{3Q_n}{2\mu_p\sigma_z\sqrt{2g}h_0^{\frac{3}{2}}} = \frac{3 \cdot 200}{2 \cdot 0.66 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot 2.20^{\frac{3}{2}}} = 31.4 \text{ m}$$

V druhom kroku výpočtu sa pre spresnenie odhadovanej hodnoty b_U pristupuje k zavedeniu vplyvu prítokovej rýchlosti v_0 a vplyvu hladiny pod haťou na jej kapacitu.

$$B \cong 1.2b_U = 1.2 \cdot 31.4 = 38 \text{ m (podľa (5.12) v Kap. 5.6.1.2)}$$

$$v_0 = \frac{Q_n}{B(h+s)} = \frac{200}{38 \cdot (2.2+0.4)} = 2.0 \text{ m.s}^{-1} \text{ (podľa (5.11) v Kap. 5.6.1.2),}$$

$$h_{d0} = \frac{\alpha v_0^2}{2g} = \frac{1.1 \cdot 2.0^2}{2 \cdot 9.81} = 0.22 \text{ m (podľa (5.9) v Kap. 5.6.1),}$$

$$h_0 = h + h_{d0} = 2.20 + 0.22 = 2.42 \text{ m,}$$

$$\sigma_z = 0.975 \text{ (pozri Kap. 5.6.1.3).}$$

$$b_U = \frac{3Q_n}{2\mu_p\sigma_z\sqrt{2g}h_0^{\frac{3}{2}}} = \frac{3 \cdot 200}{2 \cdot 0.66 \cdot 0.975 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot 2.42^{\frac{3}{2}}} = 27.96 \cong 28.0 \text{ m}$$

Celkovú účinnú (efektívnu) šírku hate b_U potrebnú na prevedenie návrhového prietoku $Q_n = 200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ je možné uvažovať hodnotou $b_U = 28.0 \text{ m}$.

Potrebnú svetlú (stavebnú) šírku hate je možné stanoviť podľa Kap. 5.6.3.

5.6.1.1 Stanovenie prepádového súčiniteľa – μ_p

Prepádový 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. 5.29),
- tvaru prepádovej plochy a jej drsnosti,
- prepádovej výšky h .

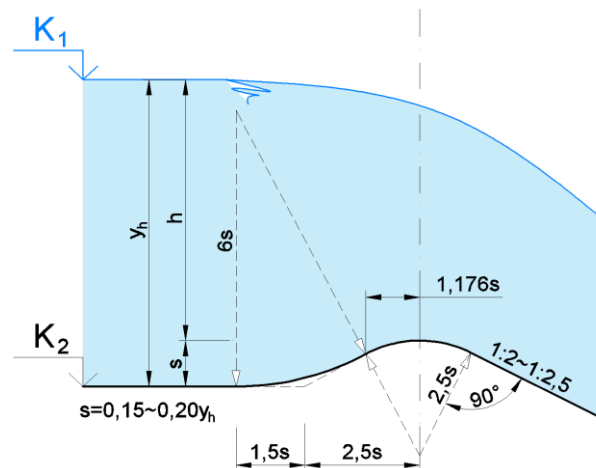
Staršie pevné hate majú väčšinou tvar priečného rezu obdĺžnikový alebo lichobežníkový. Nové hate už majú tvar prepádovej plochy zaoblený, resp. sa navrhujú s prúdnicovou prepádovou plochou. Hodnoty prepádového súčiniteľa sa získavajú experimentálne a pohybujú sa v závislosti od vyššie uvedených parametrov v rozmedzí $\mu_p = 0.45$ až 0.84 . Ekonomicky najvýhodnejšie je dosiahnutie čo najvyššej hodnoty μ_p , ktoré umožní čo najúspornejšie riešenie z pohľadu šírky haťových polí.

**Podúloha č. 6.1**

Je potrebné stanoviť hodnotu prepadového súčiniteľa μ_p na hati uvažovanej v lokalite Hliník nad Hronom na rieke Hron v zmysle Obr. 5.4. Predbežne je uvažované, že vtokové krídla hate budú mať tvar zloženej oblúkovej krivky v zmysle Obr. 5.38 a hať bude viacpólová s deliacim/pilierom/mi.

**Riešenie podúlohy č. 6.1:**

Hlavnou úlohou hate, je vzhľadom na zabezpečenie optimálneho energetického zhodnotenie hydropotenciálu danej lokality, udržiavať konštantnú hladinu nad haťou na úrovni maximálnej prevádzkovej hladiny K_1 . V zmysle Kap. 3 je to možné zabezpečiť výlučne pohyblivou haťou, t. j. haťou s pohyblivým uzáverom. Vzhľadom na to, že ide o relatívne nízku hať ($K_1 - K_2 = 2.6$ m) je výhodné navrhnúť horný obrys spodnej stavby hate v tvare **Jamborovho prahu** (pozri Obr. 5.32). Výhodou tohto riešenia je to, že samotný prah nemá prakticky žiadny vplyv na kapacitu hate a súčasne umožňuje znížiť hradiacu výšku pohyblivého uzáveru. Prah taktiež netvorí prekážku pri prechode splavenín. Výška Jamborovho prahu s by mala byť v rozmedzí $s = (0.15 - 0.2) y_h$. V prípade, že výška prahu $s < 0.15 h$, vzdutie hladiny spôsobené prahom je zanedbateľné.



Obr. 5.32 Konštrukčné riešenia Jamborovho prahu

Výpočet:

$$y_h = K_1 - K_2 = 227.60 - 225.00 = 2.6 \text{ m (hlbka hornej vody)}$$

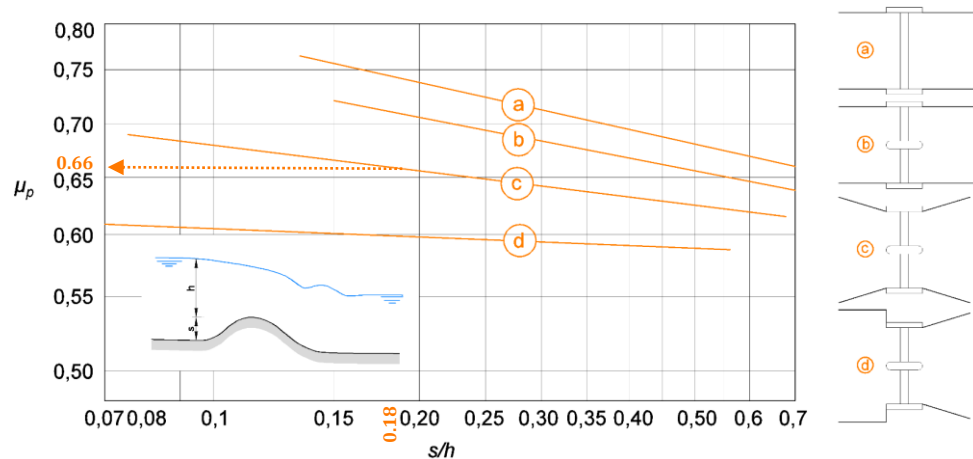
$$\text{Návrh výšky Jamborovho prahu: } s = 0.15 y_h = 0.15 \cdot 2.6 = 0.4 \text{ m}$$

Navrhovaná výška Jamborovho prahu s je 0.4 m.

Hodnotu prepadového súčiniteľa Jamborovho prahu je možné v rozmedzí $0.5 < h/s < 2.8$ podľa Skaličku [27] vypočítať podľa vzťahu:

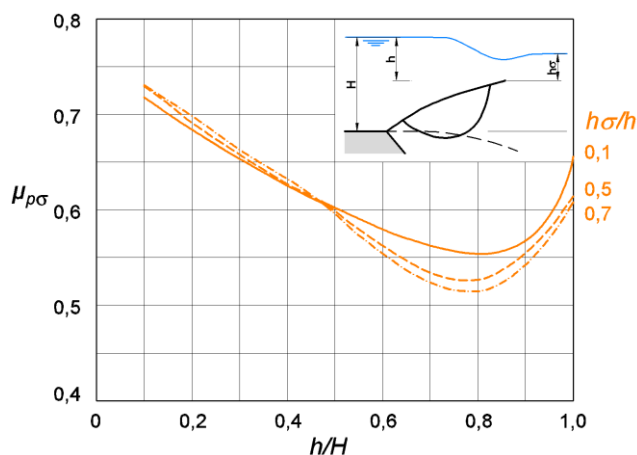
$$\frac{2}{3} \mu_p = 0.36273 + 0.05619 \frac{h}{s} - 0.009213 \left(\frac{h}{s} \right)^2 \quad (5.10)$$

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 prepádového súčiniteľa Jamborovho prahu v závislosti od pomeru s/h pre rôzne typy zúženia podľa grafu na Obr. 5.33.



Obr. 5.33 Prepádový súčiniteľ Jamborovho prahu pre typ zúženia: a – bez bočného zúženia (bez brehovej kontrakcie), b – bez bočného zúženia (bez brehovej kontrakcie) s deliacim pilierom, c – s brehovou kontrakciou a s deliacim pilierom, d – pravouhlý vtok (výrazná brehová kontrakcia) s deliacim pilierom

Pri prepade vody cez hradiace uzávery pohyblivých hatí sa mení nielen prepádová výška, ale často aj tvar priepádovej plochy. Ako príklad je na Obr. 5.60 graf pre stanovenie hodnoty prepádového súčiniteľa pre typovú klapku v závislosti od polohy sklopenia a polohy dolnej vody. Pri výpočte účinnej šírky hate sa potom hodnota prepádového súčiniteľa μ_p stanoví pre úplne sklopenú (vyhradenú) klapku.



Obr. 5.34 Prepádový súčiniteľ pre typovú klapku $\mu_{p\sigma} = \mu_p \sigma_z$



Výpočet:

$$h = y_h - s = 2.6 - 0.4 = 2.2 \text{ m,}$$

$h/s = 2.2 / 0.4 = 5.5 > 2.8 \Rightarrow$ pre výpočet prepádového súčiniteľa nie je možné použiť vzťah (5.10).

Pri hodnotách $h/s > 2.8$ je stanovenie hodnoty μ_p možné pomocou závislosti podľa Laca (pozri Obr. 5.33). V zmysle znenia podúlohy č. 6.1 je možné uvažovať so závislosťou typu ©.

$$s/h = 0.4 / 2.2 = 0.18 \Rightarrow \text{Obr. 5.33} \Rightarrow \mu_p = 0.66$$

Prepadový súčiniteľ μ_p je možné uvažovať hodnotou 0.66.



5.6.1.2 Výpočet prítokovej rýchlosti vody nad haťou – v_0

Prítokovú rýchlosť vody nad haťou je možné vo všeobecnosti pre prietok Q (t. j. prietok pretekajúci haťovou zdržou) vypočítať podľa vzťahu:



$$v_0 = \frac{Q}{B(h + s)} \quad (5.11)$$

kde:

h – je prepádová výška [m] – Obr. 5.29,

s – výška Jamborovho prahu [m] – (pozri Kap. 5.6.1.1).

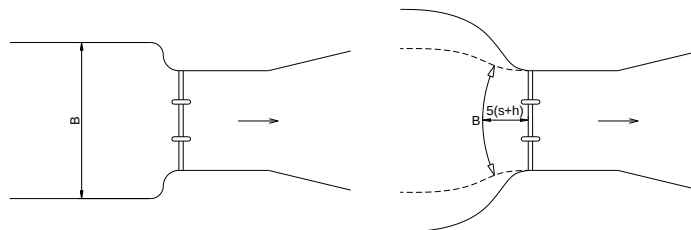
B – účinná šírka prúdiacej vody [m], ktorú je možné približne vypočítať podľa vzťahu:



$$B \cong 1,2 \cdot b_U \quad (5.12)$$

kde:

b_U – je účinná šírka hate [m] – Kap. 5.6.1.



Obr. 5.35 Schéma pre určenie účinnej šírky prúdiacej vody nad haťou

5.6.1.3 Stanovenie súčiniteľa zatopenia – σ_z

Voda môže cez hať pretekať **dokonalým** alebo **nedokonalým prepádom** (Obr. 5.29). Súčiniteľom zatopenia σ_z je redukovaný prietok odpovedajúci dokonalému prepádu. V prípade dokonalého priepadu je potom hodnota σ_z de facto rovná 1. Hodnoty súčiniteľa zatopenia v prípade nedokonalého prepadu sú $\sigma_z < 1$. Súčiniteľ zatopenia závisí od polohy dolnej hladiny, od typu prechodu prepádového lúča do dolnej vody a aj na tvare prepádovej plochy haťového telesa. V odbornej literatúre je možné nájsť pre stanovenie hodnoty σ_z množstvo ďalších vzťahov. Pri bezpodtlakových prepádových plochách je možné pre jeho stanovenie použiť tzv. *Denverský graf* na Obr. 5.36. Jeho hodnota závisí v zmysle Obr. 5.29 od pomeru:



$$\alpha = \frac{H_0 + y_d}{h_0} \quad (5.13)$$

$$\beta = \frac{H_0}{h_0} \quad (5.14)$$



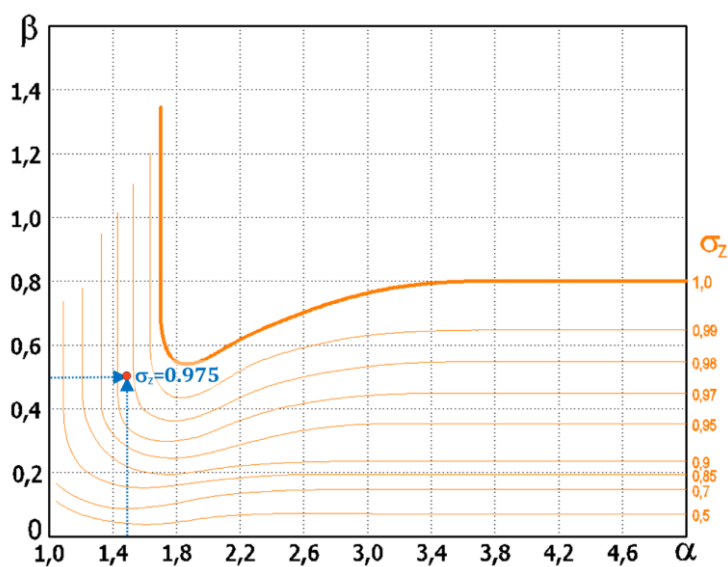
Podúloha č. 6.3

Je potrebné stanoviť hodnotu súčiniteľa zatopenia σ_z pri prevádzaní návrhového prietoku Q_n na hati uvažovanej v lokalite Hliník nad Hronom na rieke Hron v zmysle Obr. 5.4.



Riešenie podúlohy č. 6.3:

Ako prvé je nutné stanoviť polohu dolnej vody, t. j. hĺbku y_d vody v odpadovom koryte v profile tesne pod haťou pri prevádzaní návrhového prietoku hate $Q_n = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hĺbku je možné (v zmysle zjednodušenia uvedeného v Kap. 5.5.1) stanoviť pomocou mernej krivky odpadového koryta.



Obr. 5.36 Denverský graf pre stanovenie súčiniteľa zatopenia σ_z



Výpočet:

Výpočet konzumpčnej mernej krivky odpadového koryta v profile tesne pod haťou je uvedený v Kap. 5.5.1.1 – Obr. 5.28.

Hĺbka dolnej vody y_d pri návrhom prietoku hate je 2.6 m.

V ďalšom kroku je možné vypočítať podľa vzťahov (5.13) a (5.14) hodnoty α a β .



Výpočet:

$y_d = 2.6 \text{ m}$, $K_1 = 227.60 \text{ m n. m.}$ (max. prev. hladina), $K_3 = 224.00 \text{ m n. m.}$ (kóta dna pod haťou),

$$v_0 = \frac{Q_n}{B(h+s)} = \frac{200}{38 * (2.2 + 0.4)} = 2.0 \text{ m.s}^{-1} \text{ (podľa vzťahu (5.11) v Kap.5.6.1.2),}$$

$$h_{d0} = \frac{\alpha v_0^2}{2g} = \frac{1.1 * 2.0^2}{2 * 9.81} = 0.22 \text{ m (podľa vzťahu (5.11) v Kap.5.6.1.2),}$$

$$H_0 = K_1 - K_3 + h_{d0} - y_d = 227.60 - 224.00 + 0.22 - 2.6 = 1.22 \text{ m,}$$

$$h_0 = h + h_{d0} = 2.2 + 0.22 = 2.42 \text{ m.}$$

$$\alpha = \frac{H_0 + y_d}{h_0} = \frac{1.22 + 2.6}{2.42} = 1.58, \quad \beta = \frac{H_0}{h_0} = \frac{1.22}{2.42} = 0.5 \Rightarrow \text{Obr. 5.36} \Rightarrow \sigma_z = 0.975.$$

Súčiniteľ zatopenia σ_z pri prevádzaní návrhového prietoku $Q_n = 200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ je možné uvažovať hodnotou 0.975.



2.krok riešenie úlohy č. 6:

Po výpočte potrebnej účinnej (efektívnej) šírky hate (pozri Kap. 5.6.1) je možné stanoviť potrebný počet haťových polí.

5.6.2 Stanovenie počtu haťových polí – n_p

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**, pričom **minimálna svetlá šírka haťového poľa by mala byť s ohľadom na prevádzanie ľadov a veľkých plávajúcich predmetov 12 m**.

V prípade malých povodí (50 až 100 km²) je možné navrhnuť 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.

V zmysle vyššie uvedeného je potom možné za predpokladu rovnakej svetlej šírky jednotlivých haťových polí vypočítať potrebný počet polí n_p zo vzťahu:



$$n_p = \frac{b}{b_1} [-] \quad \text{Pozn: Výsledok sa zaokrúhľuje na celé číslo nahor.} \quad (5.15)$$

kde:

b – je celková svetlá (stavebná) šírka hate (pozri Kap. 5.6.3),

b_1 – svetlá šírka haťového poľa.



Podúloha č. 6.4

Na základe výpočtu celkovej účinnej šírky hate (Kap. 5.6.1) je potrebné stanoviť počet haťových polí.

Riešenie podúlohy č. 6.4:

V zmysle Kap. 5.6 je možné pre klapkový uzáver uvažovať optimálnu svetlú šírku haťového poľa v rozmedzí $b_{1\text{ OPT}} = 12$ až 18 m (pozri Kap. 5.6). V prvom predbežnom výpočte je možné predpokladať $b = b_U$.

Výpočet:

$$b = b_U = 28.0 \text{ m (Kap. 5.6.1)}$$

návrh: $n_p = 2$ (uvažujú sa minimálne dve haťové polia)

$$b_1 = \frac{b_U}{n_p} = \frac{28}{2} = 14 \text{ m (12 m < 14 m < 18 m)} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

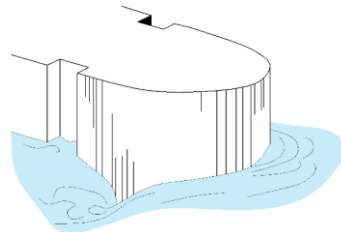
Predbežne sa navrhujú 2 haťové polia.

3. krok riešenie úlohy č. 6:

Po výpočte potrebnej účinnej (efektívnej) šírky hate (pozri Kap. 5.6.1) a stanovení predbežného počtu haťových polí (Kap. 5.6.2) je možné vypočítať svetlú (stavebnú) šírku hate – b .

5.6.3 Výpočet svetlej šírky hate – b

Kapacita hate je ovplyvňovaná nielen počtom deliacich pilierov, ale aj ich tvarom a zároveň aj tvarom brehových pilierov. Vplyvom nedokonalého obtekania piliera (Obr. 5.37) vznikajú v jeho tesnej blízkosti vodné valce so zvislou osou, ktoré spôsobujú bočné kontrakcie vodného prúdu, a tým zmenšenie prietochnosti hate.



Obr. 5.37 Kontrakcia vodného prúdu v okolí deliaceho piliera

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



$$b = n_p b_1 = b_U + (2n_{pil}\xi_p + 2\xi_k)h_0 \quad [\text{m}] \quad (5.16)$$

kde:

- b_1 – je svetlá šírka haťového poľa [m],
- b_U – účinná šírka hate vypočítaná podľa vzťahu (5.8) [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. 6.31),
- ξ_k – súčiniteľ kontrakcie podľa tvaru brehových krídiel (Obr. 5.38).

Vo všeobecnosti je možné povedať, že pri dokonalom prepade má na prietochnú 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 potrebné venovať pozornosť aj návrhu zadného zhlavia deliacich pilierov. Účinná šírka hate b_U je potom súčtom dielčích šírok pre najnepriaznivejší prípad kontrakcie.



Podúloha č. 6.5

Je potrebné vypočítať celkovú svetlú (konštrukčnú/stavebnú) šírku polí predmetnej hate.



Riešenie podúlohy č. 6.5:

Pre výpočet svetlej šírky polí je potrebné zvoliť tvar zhlavia deliacich pilierov a tvar brehových krídiel. V prípade menej významných hatí je možné použiť haťové piliere, ktoré nemajú ideálny prúdnicový tvar. V rámci riešenia je navrhované zhlavie deliaceho piliera v zmysle Kap. 5.6.3.1 – Obr. 6.31c, d. Tvar behových krídiel je navrhovaný v zmysle Kap. 5.6.3.2 – Obr. 5.38f.



Výpočet:

$$b_U = 28.0 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.1})$$

$$n_p = 2 \quad (\text{pozri Kap. 5.6.2})$$

$$\xi_p = 0.045 \quad (\text{pozri Kap. 5.6.3.1 – Obr. 6.31c, resp. d})$$

$$\xi_k = 0.05 \quad (\text{pozri Kap. 5.6.3.2 – Obr. 5.38f})$$

$$h_0 = 2.42 \text{ m} \quad (\text{pozri Obr. 5.29 a Kap. 5.6.1})$$

$$n_{pil} = n_p - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$b = b_U + (2n_{pil}\xi_p + 2\xi_k)h_0 = 28 + (2 * 1 * 0.045 + 2 * 0.05) * 2.42 = 28.46 \cong 30.0 \text{ m}$$

Celkovú svetlú (stavebnú) šírku haťových polí je možné uvažovať hodnotou $b = 30 \text{ m}$. To znamená, že pri uvažovaní 2 haťových polí je svetlá šírka haťového poľa $b_1 = 15 \text{ m}$.

Pre kontrolu je vhodné opäť v zmysle Kap. 5.7.3 preveriť, či navrhnuté svetlé šírky haťových polí vyhovujú kritériám podľa Kap. 5.6.

Poznámka: V tomto konkrétnom prípade je navrhovaná na ľavom brehu Hrona priamo vedľa hate malá vodná elektráreň (MVE), ktorá je oddelená od hate deliacim pilierom s nesymetrickým tvarom (Obr. 6.34). Pri výpočte svetlej šírky haťových polí v zmysle vzťahu (5.16) predpokladáme, že súčiniteľ kontrakcie deliaceho piliera je rovnaký ako súčiniteľa kontrakcie navrhovaného brehového krídla zaviazaného do pravého brehu koryta Hrona – pozri Obr. 6.45.

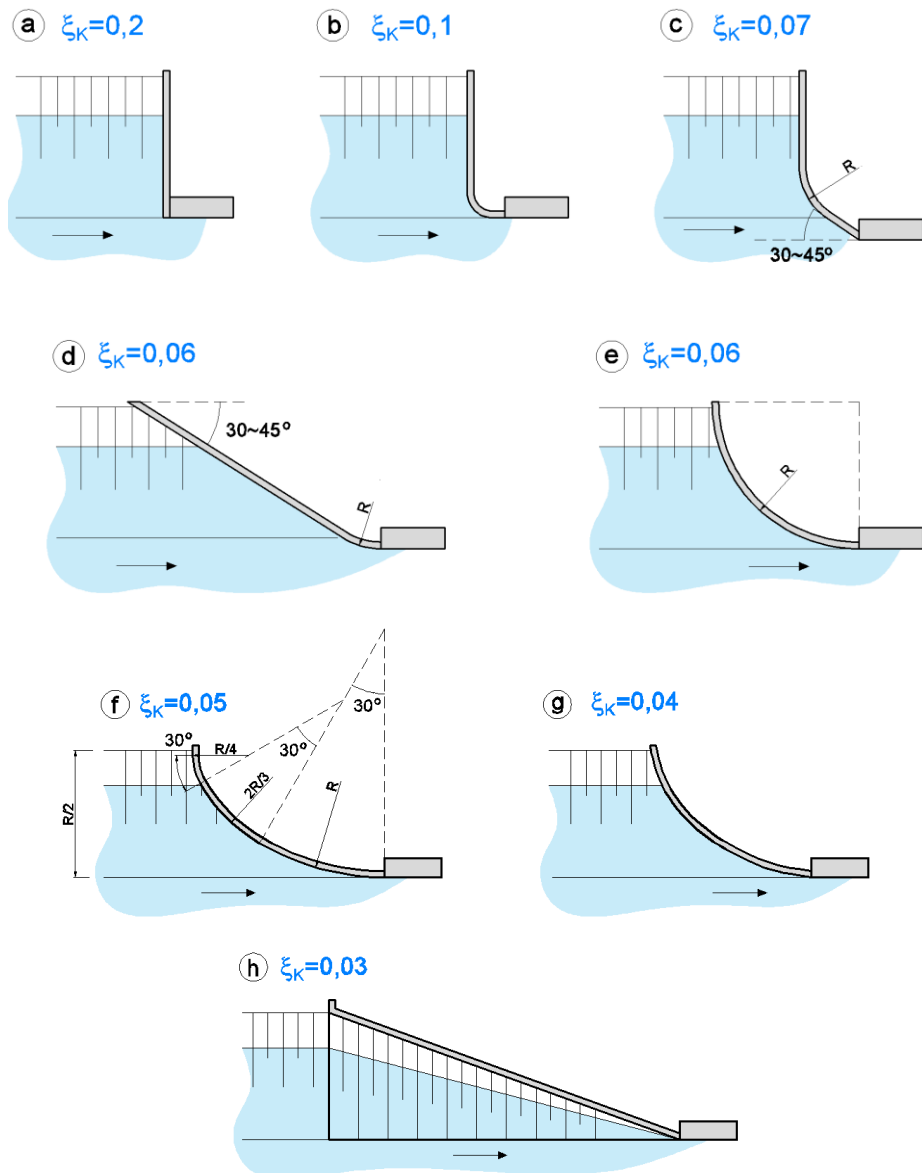
5.6.3.1 Stanovenie súčiniteľa kontrakcie deliacich pilierov – ξ_p

Okrem bočnej kontrakcie spôsobujú piliere hate aj vzdutie hladiny nad haťou a vymieňanie dna v okolí zhlavia pilierov. Preto je snaha vhodným návrhom tvaru pilierov obmedziť tieto nepriaznivé účinky na minimum. Pri významných konštrukciách sa pôdorysný tvar pilierov navrhuje **prúdnicového tvaru** (Obr. 6.29), v prípade ktorého je **vplyv kontrakcie na kapacitu hate prakticky zanedbateľný, t. j. $\xi_p = 0$** . Pri menej významných konštrukciách je možné navrhnúť aj

iné tvary zhlavia deliacich pilierov. Príklady tvarov zhlaví deliacich pilierov s prislúchajúcim súčiniteľom kontrakcie je na Obr. 6.31.

5.6.3.2 Stanovenie súčiniteľa kontrakcie brehový krídiel – ξ_k

Okrem haťových pilierov majú na kapacitu hate vplyv aj *brehové krídla*, ktoré nadväzujú na brehovú pilieru 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. 5.38a-g), ale môžu byť aj mierne naklonené alebo majú tvar tzv. „zbortenej“ plochy (Obr. 5.38h).



Obr. 5.38 Tvary krídiel brehových pilierov a ich súčiniteľ kontrakcie

Od tvaru brehových krídiel závisí veľkosť kontrakcie. Na Obr. 5.38 sú pre rôzne typy brehových krídiel uvedené hodnoty súčiniteľa kontrakcie ξ_k . Z hydraulického hľadiska je najmenej vhodný

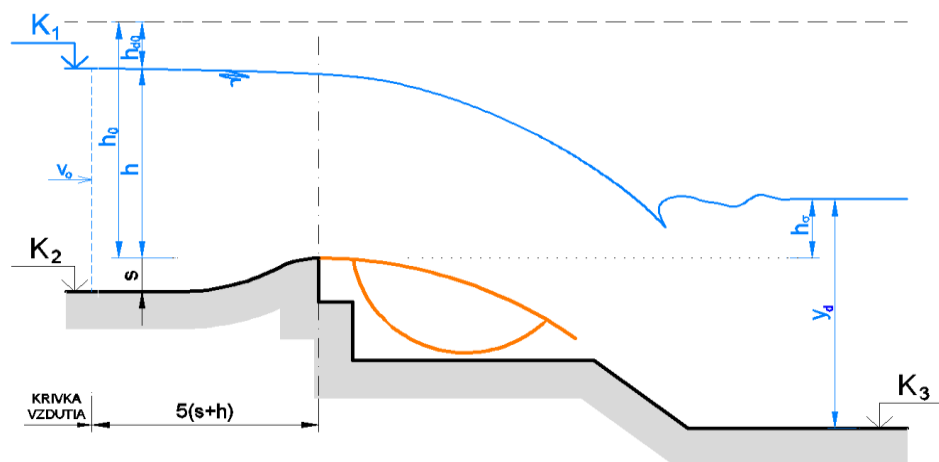
kolmé krídlo so zvislou plochou (Obr. 5.38a). Vhodnejším a väčšinou vyhovujúcim riešením je šikmé krídlo so zvislou plochou plynule napojenou na brehový pilier oblúkom s dostatočne veľkým polomerom (Obr. 5.38d). Dilatačná škára medzi krídlom a brehovým pilierom by však mala byť posunutá pred toto zaoblenie predĺžením brehového piliera (Obr. 6.43). Hydraulicky výhodný je aj eliptický tvar krídla so zvislou plochou (Obr. 5.38g). Vzhľadom k jednoduchšej výstavbe je však nahrádzaný zloženým kruhovým oblúkom (Obr. 5.38f), resp. štvrtkruhovým oblúkom (Obr. 5.38e). Pri porovnaní riešení na Obr. 5.38d,e,f a na Obr. 5.38g 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. 5.38h). 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. Výhodný hydraulický tvar majú aj jednoduché šikmé výtokové krídla so zvislou plochou plynule napojenou na brehový pilier oblúkom, pričom uhol ich odklonenia od pozdĺžnej osi toku je 6 až 10° (sklon prirodzeného roztekania vodného prúdu). Takéto riešenie má však za následok neúmerne predĺženie výtokových krídiel.



5.7 Kapacita hate

Súčasťou hydrotechnických výpočtov je po návrhu šírky a počtu haťových polí stanovenie/preverenie skutočnej **kapacity hate**, t. j. maximálneho prietoku, ktorý môže byť bezpečne prevedený (pri väčšinou maximálnej prevádzkovej hladine) cez hať.



Obr. 5.39 Schéma pre výpočet kapacity hate

Vo všeobecnosti je možné prietok haťou pri obdĺžnikovom tvare haťových polí v zmysle Obr. 5.39 a Obr. 5.31 vypočítať zo vzťahu:



$$Q = \frac{2}{3} \mu_p \sigma_z b_U \sqrt{2gh_0^{\frac{3}{2}}} \text{ [m}^3\text{.s}^{-1}\text{]} \quad (5.17)$$

kde:

- μ_p – je prepádový súčiniteľ [-],
- σ_z – súčiniteľ zatopenia [-],
- b_U – efektívna šírka priepadu [m] – pozri Kap. 5.6.1,
- g – gravitačné zrýchlenie [m.s⁻²],
- h_0 – zvislá vzdialenosť medzi čiarou energie a korunou priepadu [m]
 $h_0 = h + h_{d0}$
- h – výška prepádového lúča (prepádová výška) [m],
- h_{d0} – rýchlostná výška [m],
- v_0 – prítoková rýchlosť vody v haťovej zdrži [m.s⁻¹].



Úloha č. 7

Je potrebné preveriť v zmysle Obr. 5.39 kapacitu navrhnutej hate.



Riešenie úlohy č. 7:

Pri preverení kapacity hate sa vychádza z rozmerov vypočítaných v rámci predchádzajúcich úloh (pozri Kap. 5.6). Vzhľadom na koncepciu riešenie uvažovanej stavby (obtekaná, resp. prelievaná hať) je okrem preverenia kapacity hate potrebné preveriť aj celkovú kapacitu haťového profilu. Výstavbou hate, resp. výstavbou vodného diela nesmie byť zhoršená existujúca kapacita profilu. Vzhľadom na obmedzený rozsah týchto skrípt preverenie kapacity haťového profilu nie je súčasťou výpočtov. Prepádový súčiniteľ μ_p je možné stanoviť podľa závislosti podľa Laca pre Jamborov prah (Obr. 5.33), resp. je možné preveriť skutočnú kapacitu hate stanovením prepádového súčiniteľa pre typovú klapku (Obr. 5.34).



Výpočet:

$s = 0.4 \text{ m}$ (pozri Kap. 5.6.1.1), $K_1 = 227.6 \text{ m n. m.}$ (max. prev. hladina), $K_2 = 225.0 \text{ m n. m.}$ (kóta dna pred haťou)

$$h = K_1 - K_2 - s = 227.6 - 225.0 - 0.4 = 2.2 \text{ m}$$

$y_d = 2.6 \text{ m}$ (hĺbka vody pod haťou pri Q_n pozri Kap. 5.5.1.1 - Obr. 5.28)

$$H = h$$

$$h_\sigma = (K_3 + y_d) - (K_2 + s) = (224.0 + y_d) - (K_2 + s) = (224.0 + 2.6) - (225.0 + 0.4) = 1.2 \text{ m,}$$

$$h_d/h = 1.2/2.2 = 0.54, h/H = 1 \Rightarrow \mu_p = \mu_{p\sigma} = 0.61 \text{ (pozri Kap. 5.6.1.1 - Obr. 5.34)}$$

σ_z – súčiniteľ zatopenia je zahrnutý v hodnote prepádového súčiniteľa $\mu_{p\sigma}$

$$g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$$

V prvom kroku výpočtu kapacity hate podľa (5.19) sa predpokladá, že haťou preteká návrhový prietok $Q_n = 200 \text{ m}^3\text{.s}^{-1}$ (pozri Kap. 5.2.4).

$$h_0 = 2.42 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.1})$$

$$n_{pil} = 1 \quad (\text{počet deliacich pilierov})$$

$$b = 30.0 \text{ m} \quad (\text{celková svetlá (stavebná) šírka haťových polí – pozri Kap. 5.6.3})$$

$$b_U = b - (2n_{pil}\xi_p + 2\xi_k)h_0 = 30.0 - (2 * 1 * 0.045 + 2 * 0.05) * 2.42 = 29.54 \text{ m}$$

$$Q = \frac{2}{3} \mu_p \sigma_z b_U \sqrt{2gh_0^{\frac{3}{2}}} = \frac{2}{3} * 0.61 * 29.54 * \sqrt{2 * 9.81} * 2.42^{\frac{3}{2}} = 200.32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

V ďalšom kroku výpočtu je možné hodnotu prietoku pre výpočet prítokovej rýchlosti spresniť podľa vypočítanej hodnoty kapacity v prvom kroku riešenie. Pri nevýznamnom rozdiely predpokladaného a vypočítaného prietoku má prepočet kapacity hate v ďalšom kroku už iba formálny charakter.

$$h_0 = 2.43 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.1}).$$

$$b_U = 30.0 - (2 * 1 * 0.045 + 2 * 0.05) * 2.43 = 29.54 \text{ m}$$

$$Q = \frac{2}{3} \mu_p \sigma_z b_U \sqrt{2gh_0^{\frac{3}{2}}} = \frac{2}{3} * 0.61 * 29.54 * \sqrt{2 * 9.81} * 2.43^{\frac{3}{2}} = 201.34 \cong 201 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Celková kapacita úplne vyhradenej hate je $201 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. T. j. kapacita je väčšia ako návrhový prietok hate $Q_n = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$ navrhnutá svetlá šírka a počet haťových polí VYHOVUJE.

Poznámka: Tak ako v prípade výpočtu celkovej svetlej šírky haťových polí podľa (5.16) v Kap. 5.6.3. predpokladáme, že súčiniteľ kontrakcie deliaceho piliera oddeľujúceho hať od MVE je rovnaký ako súčiniteľ kontrakcie navrhovaného brehového krídla zaviazaného do pravého brehu koryta Hrona (pozri Obr. 6.45). Taktiež je potrebné poznamenať, že aj keď navrhnutá svetlá šírka haťových polí vyhovuje vyššie uvedenému posúdenie, vzhľadom na relatívne nízku prietokú rezervu (0.5 %), by sa „v praxi“ z titulu zvýšenia bezpečnosti s najväčšou pravdepodobnosťou pristúpilo k zväčšeniu svetlej šírky haťových polí (napr. na 16.0 m).



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

5.8 Návrh podhatia

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 príslušného vodného skoku v **prehĺbenom** vývare (Obr. 5.41). 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 **rozrážачmi** alebo **zdrsnením dna** koryta, 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.

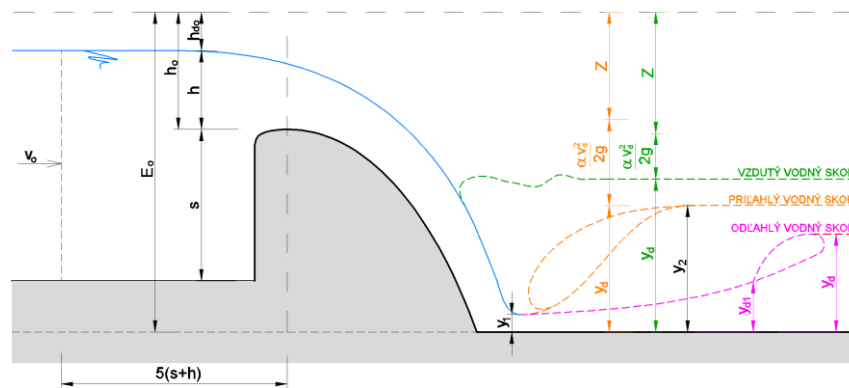
Ani pri najlepšom návrhu tlmiacich opatrení (vývaru, resp. rozrážáčov) však nie je ich účinok dokonalý a v koryte vznikajú menšie výmole, ktoré by však tiež nemali ohrozovať stabilitu hate. To je dôvod, prečo je aj nadväzujúce koryto tesne za vývarom opevnené a chránené pred vymieľaním (Kap. 6.2.1).

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

5.8.1 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. 5.40). Medzi hĺbkou bystrinného prúdu y_1 (tzv. *prvá vzájomná hĺbka*) a hĺbkou riečneho prúdu y_2 (tzv. *druhá vzájomná hĺbka*) existuje jednoznačný vzťah (5.21) vychádzajúci z Bernoulliho rovnice pre mernú energiu prierezu E_0 :

$$E_0 = y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g\varphi^2} = y_1 + \frac{\alpha q^2}{2gy_1^2\varphi^2} \quad (5.18)$$



Obr. 5.40 Spojenie hladín hornej a dolnej zdrže hate

Prvá vzájomnú hĺbku vodného skoku y_1 je možné vypočítať zo vzťahu pre najmenšiu hĺbku:



$$y_1 = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(E_0 - y_1)}} \quad (5.19)$$

kde:

q – je špecifický prietok, t. j. prietok na 1 m šírky priepadu, ktorý je možné vypočítať podľa vzťahu:



$$q = \frac{Q}{b} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5.20)$$

kde:

- Q – je celkový prietok cez hať [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 b – celková svetlá (stavebná) šírka haťových polí [m],
 φ – rýchlostný súčiniteľ, ktorý vyjadruje pomer skutočnej a teoretickej rýchlosti ($\varphi < 1$) – pozri Tab. 5.5. 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.

Mernú energiu prierezu E_0 je možné stanoviť v zmysle Obr. 5.47, pričom rýchlostnú výšku h_{d0} je možné vypočítať podľa vzťahu (5.9).

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:



$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \right) \quad (5.21)$$

kde:

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



$$Fr = \frac{\beta q}{y_1 \sqrt{g y_1}} \quad (5.22)$$

kde:

- β – je Boussinesqovo číslo, vyjadrujúce nerovnomerné rozdelenie hybností (1.05 až 1.15),
 g – gravitačné zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Tab. 5.5 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 prepád cez hať s bezpodtlakovou priepadovou plochou	
a) malá dĺžka priepadovej plochy	1.0
b) stredná dĺžka priepadovej plochy ($E_0 = 15 \text{ m}$)	0.95
c) veľká dĺžka priepadovej plochy ($E_0 = 25; 30; 50; 70 \text{ m}$)	0.90; 0.85; 0.75; 0.73
6. Výtok pod hradiacou konštrukciou na korunke 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

V prípade, že sa skutočná hĺbka dolnej vody pod haťou y_d rovná vypočítanej druhej vzájomnej hĺbke y_2 , je splnená podmienka pre vznik **prilahlého** 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

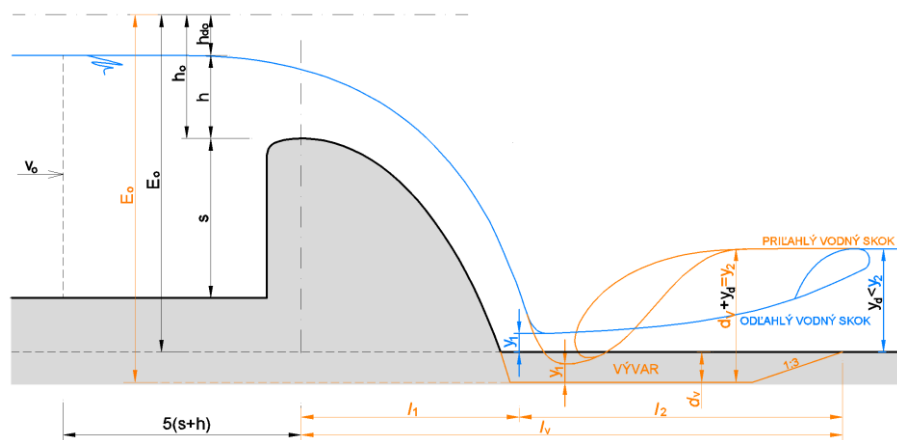
Prehĺbením dna pod haťou sa snažíme, aby sa bezprostredne za haťovým telesom vytvoril príľahlý vodný skok.

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

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 príľahlý vodný skok (Obr. 5.41).

5.8.2 Návrh vývaru

V ďalšom texte 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.



Obr. 5.41 Prehĺbenie dna vývaru s cieľom lokalizovať príľahlý vodný skok za telesom hate

Základnými parametrami vývaru sú v zmysle Obr. 5.41:

d_v – hĺbka vývaru,
 l_v – dĺžka vývaru.

Tieto hodnoty je potrebné navrhnuť 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 nemusia zodpovedať maximálnemu prietoku haťou.



Mernú energiu prierezu E je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$E_0 = K_1 - K_3 + h_{d0} \text{ [m]} \quad (5.23)$$

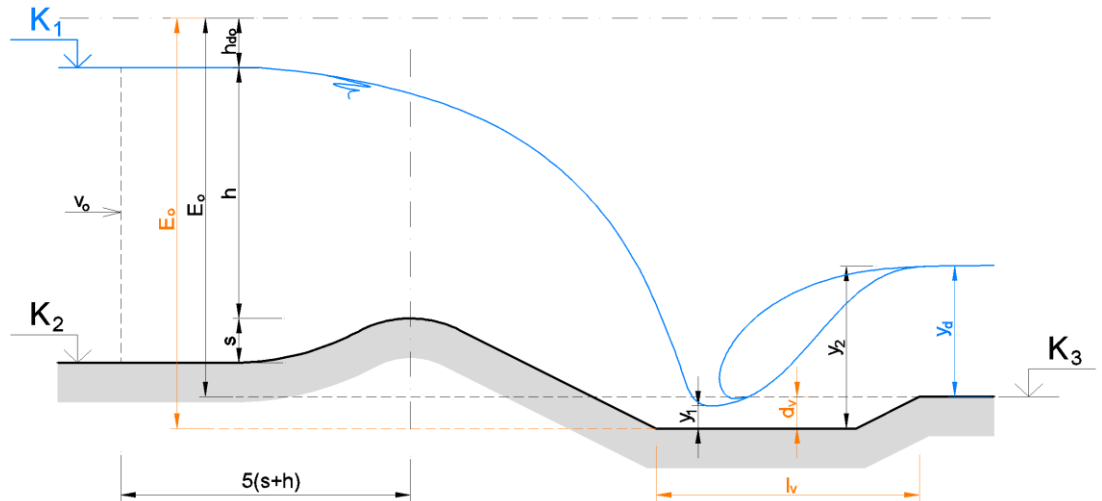
kde:

h_{d0} – je rýchlostná výška v [m], ktorú je možné vypočítať podľa vzťahu (5.9).

Mieru vzdutia vodného skoku σ je možné vypočítať podľa vťahu:

$$\sigma = \frac{y_d}{y_2} \text{ [-]} \quad (5.24)$$

Vývar nie je potrebný v prípade, že miera vzdutia $\sigma \geq 1,05$, t. z., že za haťou sa pre daný špecifický prietok q vytvorí vzduť vodný skok.



Obr. 5.42 Výpočtová schéma pre dimenzovanie vývaru



Úloha č. 8

V zmysle výpočtovej schémy na Obr. 5.42 je potrebné navrhnúť parametre vývaru predmetnej hate.

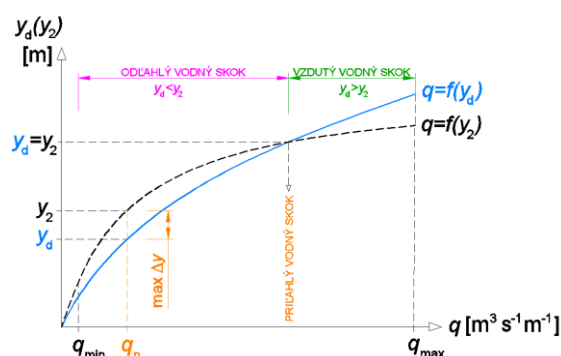


1. krok riešenia úlohy č. 8:

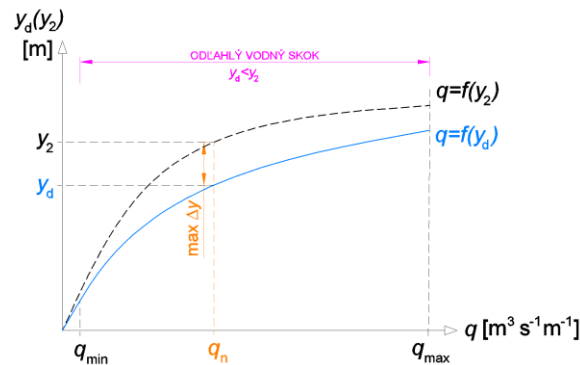
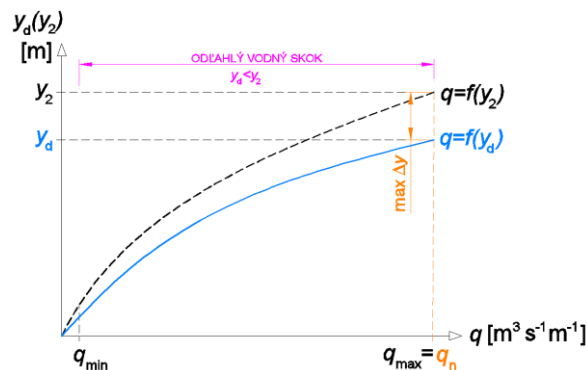
V prvom kroku riešenia sa stanoví návrhový špecifický prietok q_n .

5.8.2.1 Stanovenie návrhového špecifického prietoku – q_n

Pre stanovenie návrhového (najnepriaznivejšieho) špecifického prietoku q_n pre dimenzovanie vývaru je možné použiť vzájomný vzťah mernej krivky koryta pod haťou $q = f(y_d)$ a krivky závislosti $q = f(y_2)$, kde y_2 je druhá vzájomná hĺbka vodného skoku, ktorú možno vypočítať podľa vzťahu (5.21). **Potom návrhový špecifický prietok q_n je prietok, pre ktorý je $\Delta y = y_2 - y_d$ maximálny.** Na Obr. 5.43 až Obr. 5.45 sú zobrazené možné prípady vzájomného vzťahu závislostí $q = f(y_d)$ a $q = f(y_2)$.



Obr. 5.43 Určenie návrhového špecifického prietoku q_n

Obr. 5.44 Určenie návrhového špecifického prietoku q_n v prípade, že $y_d < y_2$ Obr. 5.45 Určenie návrhového špecifického prietoku q_n v prípade, že $y_d < y_2$ **Podúloha č. 8.1**

V zmysle výpočtovej schémy na Obr. 5.42 je potrebné stanoviť návrhový prietok q_n pre výpočet vývaru predmetnej hate.

**Riešenie podúlohy č. 8.1:**

Vzájomnú komparáciu závislostí hladiny pod hatou y_d , resp. druhej vzájomnej hĺbky vodného skoku y_2 od špecifického prietoku hatou q je vhodné spracovať tabelárne pre hodnoty reálnych prietokov v koryte Hrona v rozmedzí cca 5 % až 100 % návrhového prietoku hate Q_n . V tomto konkrétnom prípade je návrhový prietok hate Q_n menší ako kapacita celého hatového profilu (Kap. 5.2.4). V prípade, že by z výsledkov výpočtov bolo zrejmé, že návrhový prietok pre dimenzovanie vývaru môže byť aj prietok väčší ako návrhový prietok hate Q_n , je toto nutné preveriť. Hodnoty $y_d = f(Q)$ sa odčítajú z konzumpčnej krivky odpadového koryta (Obr. 5.28). Hodnoty y_2 sú závislé od hodnoty špecifického prietoku q a hodnoty prvej vzájomnej hĺbky y_1 v zmysle vzťahu (5.21).

**Výpočet:**

$$Q = 0.05Q_n \text{ až } Q_n = 10 \text{ až } 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$b = 30.0 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.3})$$

$$\varphi = 0.98 \quad (\text{podľa Tab. 5.5 pre typ prúdenia 4.})$$

$$\beta = 1.1 \in < 1.05 \text{ až } 1.15 >$$

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.

Tab. 5.6 Tabuľka výpočtov pre stanovenie návrhového prietoku q_n pre dimenzovanie vývaru

Q [m ³ .s ⁻¹]	y_d [m]	q [m ² .s ⁻¹]	v_0 [m.s ⁻¹]	h_{d0} [m]	E_0 [m]	y_1 [m]	Fr [-]	y_2 [m]	$\Delta y = y_2 - y_d$ [m]	σ [-]
	Obr. 5.28	(5.20)	(5.11)	(5.9)	(5.23)	(5.19)	(5.22)	(5.21)		(5.24)
10	0.44	0.3	0.11	0.00	3.60	0.04	14.26	0.80	0.363	0.55
30	0.84	1.0	0.32	0.01	3.61	0.12	8.10	1.35	0.511	0.62
50	1.14	1.7	0.53	0.02	3.62	0.21	6.17	1.71	0.573	0.67
70	1.39	2.3	0.75	0.03	3.63	0.29	5.13	1.99	0.601	0.70
90	1.62	3.0	0.96	0.05	3.65	0.38	4.46	2.23	0.610	0.73
110	1.82	3.7	1.18	0.08	3.68	0.47	3.97	2.43	0.606	0.75
130	2.01	4.3	1.39	0.11	3.71	0.56	3.60	2.60	0.591	0.77
150	2.19	5.0	1.60	0.14	3.74	0.66	3.31	2.76	0.572	0.79
170	2.35	5.7	1.82	0.18	3.78	0.75	3.07	2.90	0.549	0.81
190	2.51	6.3	2.03	0.23	3.83	0.84	2.87	3.03	0.519	0.83
200	2.60	6.7	2.14	0.26	3.86	0.89	2.78	3.09	0.489	0.84

Z výsledkov v Tab. 5.6 je zrejmé, že pri všetkých preverovaných prietokoch je $\sigma < 1$, t. z., že by pri všetkých preverovaných prietokoch vznikol za haťou odľahlý vodný skok (Obr. 5.44). V takomto prípade **je nutné navrhnúť vývar**.

V prípade, že pri všetkých preverovaných prietokoch je miera vzdutia $\sigma \geq 1.05$ vývar nie je potrebný. V takomto prípade sa navrhuje tzv. konštrukčný vývar s hĺbkou aspoň 0.5 m.

Návrhový prietok pre dimenzovanie vývaru q_n zodpovedá maximálnemu rozdielu $y_2 - y_d$, t. j. hodnote 0.610. Hodnotu q_n je možné uvažovať 3 m².s⁻¹.



2. krok riešenie úlohy č. 8:

V druhom kroku riešenia sa vypočíta potrebná hĺbka vývaru d_v .

5.8.2.2 Výpočet hĺbky 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:



$$d_v = \sigma y_2 - y_d \quad (5.25)$$

kde:

- σ – je súčiniteľ, ktorý určuje odporúčanú mieru vzdutia pre vytvorenie stabilného príľahlého vodného skoku; $\sigma = 1.05$ až 1.1,
- y_2 – druhá vzájomná hĺbka vodného skoku pri návrhovom prietoku q_n podľa (5.21),
- y_d – hĺbka v dolnej zdrži hate pri návrhovom prietoku q_n .

V prípade, že výpočtom stanovená hĺbka vývaru je veľmi malá je vhodné navrhnúť minimálny – konštrukčný vývar aspoň 0.5 m hlboký. Pri významných objektoch je vhodné overiť rozmery vývaru modelovým výskumom.



Podúloha č. 8.2

V zmysle výpočtovej schémy na Obr. 5.42 je potrebné navrhnúť hĺbku vývaru d_v .



Riešenie podúlohy č. 8.2:

V prvom kroku návrhu je potrebné odhadnúť hĺbku vývaru d_v , následne vypočítať prvú a druhú vzájomnú hĺbku vodného skoku, ktorý by sa vytvoril pri danej hĺbke vývaru. Pri správnom odhade hĺbky vývaru by mala byť miera vzdutia v rozmedzí $\sigma_{min} = 1.05$ po $\sigma_{max} = 1.10$. V prípade, že σ nie je v rozmedzí, poopravíme hĺbku vývaru d_v a výpočet opakujeme.



Výpočet:

$$q_n = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad (\text{pozri Kap. 5.8.2.1})$$

$$\varphi = 0.98 \quad (\text{podľa Tab. 5.5 pre typ prúdenia 4.})$$

$$\beta = 1.1 \in < 1.05 \text{ až } 1.15 >$$

$$y_d = 1.62 \text{ m} \quad (\text{pozri Tab. 5.6 hodnotu hĺbky vody pod haťou } y_d \text{ pre návrhový prietok } q_n)$$

$$K_1 = 227.60 \text{ m n. m. (max. prev. hladina)}$$

$$K_3 = 224.00 \text{ m n. m. (kóta dna pod haťou)}$$

Prvý odhad: $d_v = 0.7 \text{ m}$

$$E_0 = K_1 - K_3 + h_{d0} + d_v = 227.60 - 224.00 + 0.05 + 0.7 = 4.35 \text{ m}$$

$$y_1 = \frac{q_n}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - y_1)}} = \frac{3}{0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (4.35 - y_1)}} \rightarrow \text{iter} \rightarrow = 0.35 \text{ m (podľa vzťahu (5.19))}$$

$$Fr = \frac{\beta q_n}{y_1 \sqrt{g y_1}} = \frac{1.1 \cdot 3}{0.35 \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.35}} = 5.09 \quad (\text{podľa vzťahu (5.22)})$$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1) = \frac{0.35}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 5.09^2} - 1) = 2.35 \text{ m (podľa vzťahu (5.21))}$$

$$\sigma = \frac{y_d + d_v}{y_2} = \frac{1.62 + 0.7}{2.35} = 0.99 \Rightarrow 0.99 < \sigma_{min}(=1.05) \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE} \Rightarrow \text{zväčšiť hĺbku vývaru}$$

Druhý odhad: $d_v = 1.0 \text{ m}$

$$E_0 = K_1 - K_3 + h_{d0} + d_v = 227.60 - 224.00 + 0.05 + 1.0 = 4.65 \text{ m}$$

$$y_1 = \frac{q_n}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - y_1)}} = \frac{3}{0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (4.65 - y_1)}} \rightarrow \text{iter} \rightarrow = 0.33 \text{ m (podľa vzťahu (5.19))}$$

$$Fr = \frac{\beta q_n}{y_1 \sqrt{g y_1}} = \frac{1.1 \cdot 3}{0.33 \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.33}} = 5.56 \quad (\text{podľa vzťahu (5.22)})$$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1) = \frac{0.33}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 5.56^2} - 1) = 2.43 \text{ m (podľa vzťahu (5.21))}$$

$$\sigma = \frac{y_d + d_v}{y_2} = \frac{1.62 + 1.0}{2.42} = 1.08 \Rightarrow \sigma_{min}(=1.05) < 1.08 < \sigma_{max}(=1.1) \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Hĺbku vývaru d_v je možné uvažovať hodnotou 1.0 m.



3.krok riešenie úlohy č. 8:

V treťom kroku riešenia sa vypočíta dĺžka vývaru l_v .

Pri výpočte nemusi vychádzať najväčšia hĺbka a dĺžka vývaru pri tom istom prietoku. Preto je potrebné preveriť vývar pre rad prietokov a im zodpovedajúcim polohám dolnej vody.



5.8.2.3 Výpočet dĺžky vývaru – l_v

Dĺžkou vývaru rozumieme vodorovnú vzdialenosť od priepadovej hrany po koniec prahu vývaru (Obr. 5.41). Celková dĺžka vývaru l_v sa skladá z dĺžky l_1 , ktorú môžeme definovať ako vodorovnú vzdialenosť od priepadovej hrany po miesto dopadu prepádového 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.

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

$$l_2 = n l_s \quad (5.26)$$

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:



$$l_2 = K(y_2 - y_1) \quad (5.27)$$

kde:

- K – je súčiniteľ závislý od pomeru $\frac{y_2}{y_1}$ – pozri Tab. 5.7.

Tab. 5.7 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

Pri výpočte nemusi vychádzať najväčšia hĺbka a dĺžka vývaru pri tom istom prietoku. Preto je potrebné preveriť vývar pre rad prietokov a im zodpovedajúcim polohám dolnej vody.

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.

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



Podúloha č. 8.3

V zmysle výpočtovej schémy na Obr. 5.42 je potrebné navrhnuť dĺžku vývaru l_v .



Riešenie podúlohy č. 8.3:

Pri použití klapkového pohyblivého uzáveru sa horný obrys spodnej stavby hate navrhuje tak, aby pri každej polohe klapky prepádajúci lúč dopadal na šikmú priepadovú plochu horného

obrysu (pozri Obr. 6.3). To znamená, že celková dĺžka vývaru l_v bude zodpovedať aktívnej dĺžke l_2 . Vzhľadom k šírkovým pomerom koryta v mieste výstavby hate sa navrhuje vývar priamy - nedivergentný.



Výpočet:

$$Q = 0.05Q_n \text{ až } Q_n = 10 \text{ až } 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$b = 30.0 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.3})$$

$$d_v = 1.0 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.8.2.2})$$

$$\varphi = 0.98 \quad (\text{podľa Tab. 5.5 pre typ prúdenia 4.})$$

$$\beta = 1.1 \in < 1.05 \text{ až } 1.15 >$$

Tab. 5.8 Tabuľka výpočtov dĺžky vývaru l_v

Q [m ³ .s ⁻¹]	y_d [m]	q [m ² .s ⁻¹]	v_0 [m.s ⁻¹]	h_{d0} [m]	E_0 [m]	y_1 [m]	Fr [-]	y_2 [m]	$y_2 - y_1$ [m]	y_2/y_1 [-]	K [-]	$l_v = l_2$ [m]
	Obr. 5.28	(5.20)	(5.11)	(5.9)	(5.32)	(5.19)	(5.22)	(5.21)	(5.30)		Tab. 5.7	(5.27)
10	0.44	0.3	0.11	0.00	4.60	0.04	17.2	0.86	0.82	23.8	4.0	3.3
30	0.84	1.0	0.32	0.01	4.61	0.11	9.8	1.45	1.34	13.4	4.5	6.1
50	1.14	1.7	0.53	0.02	4.62	0.18	7.5	1.85	1.67	10.1	4.5	7.5
70	1.39	2.3	0.75	0.03	4.63	0.26	6.3	2.16	1.90	8.4	4.5	8.6
90	1.62	3.0	0.96	0.05	4.65	0.33	5.5	2.42	2.09	7.3	4.5	9.4
110	1.82	3.7	1.18	0.08	4.68	0.41	4.9	2.65	2.24	6.5	4.5	10.1
130	2.01	4.3	1.39	0.11	4.71	0.49	4.5	2.85	2.37	5.9	5.0	11.8
150	2.19	5.0	1.60	0.14	4.74	0.56	4.2	3.04	2.48	5.4	5.0	12.4
170	2.35	5.7	1.82	0.18	4.78	0.64	3.9	3.21	2.57	5.0	5.0	12.8
190	2.51	6.3	2.03	0.23	4.83	0.72	3.6	3.37	2.65	4.7	5.0	13.2
200	2.60	6.7	2.14	0.26	4.86	0.76	3.5	3.44	2.68	4.5	5.0	13.4

Dĺžku vývaru l_v je možné uvažovať hodnotou 13.5 m.

Poznámka: Návrh parametrov vývaru musí zodpovedať manipulačnému poriadku hate. T. z., že je nutné brať do úvahy uzavretie jedného alebo viacerých haťových polí. V takomto prípade bude však špecifický prietok väčší ako v prípade predpokladu prevádzkania prietoku cez všetky polia. To môže mať za následok nutnosť zväčšenia parametrov vývaru. Metóda návrhu je však totožná.

5.8.2.4 Predbežný návrh hrúbky vývarovej dosky – h_b

Hrúbka vývarovej dosky je dimenzovaná predovšetkým na vztlakovú silu, ale musí odolať aj dynamickému zaťaženiu prepádajúcej 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:



$$h_b = 0,4 \left(\frac{q}{2} \right)^{0,5} H^{0,25} \text{ [m]} \quad (5.28)$$

kde:

q – je špecifický prietok haťou [m³.s⁻¹.m⁻¹],

H – rozdiel medzi hornou a dolnou hladinou pri prietoku q [m].

Podľa Dombrovského je možné použiť vzťah:



$$h_b = 0,15v_1\sqrt{y_1} \quad [\text{m}] \quad (5.29)$$

kde:

v_1 – je prierezová rýchlosť v mieste dopadu prepádajúceho lúča [m.s^{-1}], ktorú je možné vypočítať zo vzťahu:



$$v_1 = \frac{q}{y_1} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (5.30)$$

kde:

y_1 – prvá vzájomná hĺbka vodného skoku – Obr. 5.41 $\approx$ hĺbka vody v mieste dopadu prepádajúceho lúča [m].



Úloha č. 9

Je potrebné navrhnuť hrúbku dosky vývaru predmetnej hate.



Riešenie podúlohy č. 8.3:

Na výpočet predbežnej hrúbky vývarovej dosky je vhodné použiť oba vzťahy popísané v Kap. 5.8.2.4. Následne sa výsledky porovnajú a vyberie sa nepriaznivejší variant.

Hodnotu H pri prietoku q je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$H = K_1 - K_3 + y_d \quad [\text{m}] \quad (5.31)$$

Mernú energiu prierezu E_0 s uvažovaním hĺbky vývaru je možné vypočítať zo vzťahu:

$$E_0 = K_1 - K_3 + d_v + h_{d0} \quad [\text{m}] \quad (5.32)$$

kde:

d_v – je hĺbka vývaru v [m], ktorú je možné vypočítať podľa vzťahu (5.25),

h_{d0} – rýchlostná výška v [m], ktorú je možné vypočítať podľa vzťahu (5.9).



Výpočet:

$$Q = 0.05Q_n \text{ až } Q_n = 10 \text{ až } 200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$$

$$b = 30.0 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.3})$$

$$d_v = 1.0 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.8.2.2})$$

$$\varphi = 0.98 \quad (\text{podľa Tab. 5.5 pre typ prúdenia 4})$$

$$K_1 = 227.60 \text{ m n. m. (max. prev. hladina)}$$

$$K_3 = 224.00 \text{ m n. m. (kóta dna pod haťou)}$$

Tab. 5.9 Tabuľka výpočtov hrúbky vývarovej dosky – h_b

Q [m ³ .s ⁻¹]	y_d [m]	q [m ² .s ⁻¹]	Tarajnovič		Dombrovskij					
			H [m]	h_b [m]	v_0 [m.s ⁻¹]	h_{d0} [m]	E_0 [m]	y_1 [m]	v_1 [m.s ⁻¹]	h_b [m]
	Obr. 5.28	(5.20)	(5.31)	(5.29)	(5.11)	(5.9)	(5.32)	(5.19)	(5.30)	(5.29)
10	0.44	0.3	3.16	0.22	0.11	0.00	4.60	0.04	9.27	0.26
30	0.84	1.0	2.76	0.36	0.32	0.01	4.61	0.11	9.21	0.46
50	1.14	1.7	2.46	0.46	0.53	0.02	4.62	0.18	9.14	0.59
70	1.39	2.3	2.21	0.53	0.75	0.03	4.63	0.26	9.08	0.69
90	1.62	3.0	1.98	0.58	0.96	0.05	4.65	0.33	9.02	0.78
110	1.82	3.7	1.78	0.63	1.18	0.08	4.68	0.41	8.97	0.86
130	2.01	4.3	1.59	0.66	1.39	0.11	4.71	0.49	8.92	0.93
150	2.19	5.0	1.41	0.69	1.60	0.14	4.74	0.56	8.88	1.00
170	2.35	5.7	1.25	0.71	1.82	0.18	4.78	0.64	8.84	1.06
190	2.51	6.3	1.09	0.73	2.03	0.23	4.83	0.72	8.80	1.12
200	2.60	6.7	1.00	0.73	2.14	0.26	4.86	0.76	8.79	1.15

Najväčšia hrúbka vývarovej dosky h_b je podľa výpočtov **1.15 m**. Z hľadiska konštrukčného je však vhodné pri priepustnom podloží uvažovať s minimálnou hrúbkou vývarovej dosky **1.5 m**.

Poznámka: Z výsledkov výpočtu hrúbky vývarovej dosky v Tab. 5.9 podľa Dombrovského je zrejmé, že by bolo potrebné preveriť aj hodnoty prietokov vyšších ako $Q_n = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vzhľadom na obmedzený rozsah týchto skrípt, takéto preverenie, nie je súčasťou výpočtov.

Vyššie uvedený postup pre predbežný návrh hrúbky vývarovej dosky je možné použiť pre všetky predbežné úvahy o konštrukčnom riešení spodnej stavby hate. Presné riešenie však vyžaduje komplexné posúdenie z hľadiska dynamického namáhania vývarovej dosky a pôsobenia vztlačkových síl.



6 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).



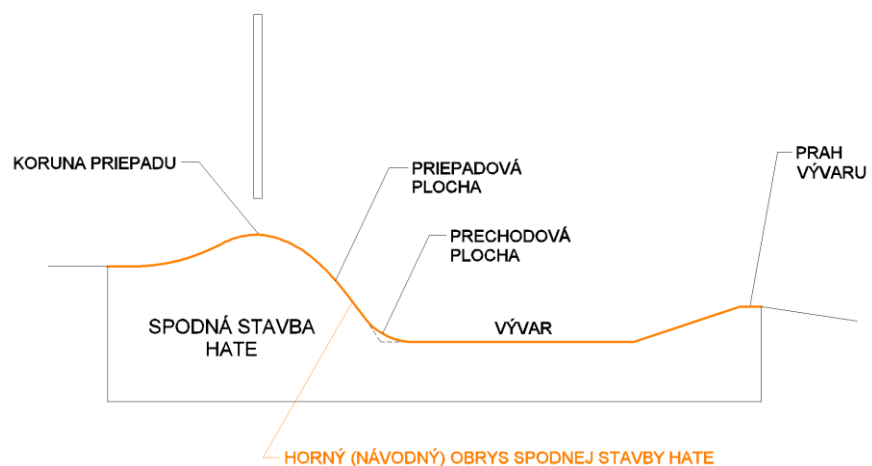
6.1 Spodná stavba hate, vývar

Tvar a veľkosť spodnej stavby hate závisí od viacerých faktorov, pričom je potrebné navrhnuť jej *horný (návodný) obrys* (Kap. 6.1.1) a *dolný obrys hate* (Kap. 6.1.2).

6.1.1 Návrh tvaru horného (návodného) obrysu spodnej stavby hate

Tvar horného (návodného) obrysu spodnej stavby hate (Obr. 6.1) závisí najmä od:

- hydraulických parametrov prepadového, resp. výtokového lúča a vodného skoku,
- použitého materiálu spodnej stavby,
- typu hate.



Obr. 6.1 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. 5.8.1).

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

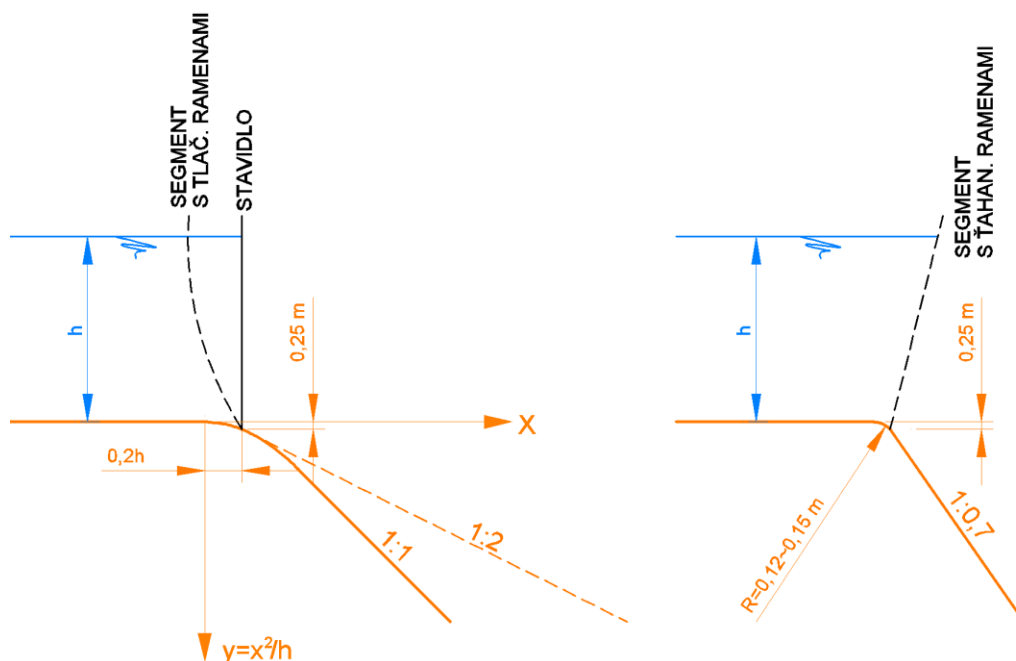
Pri pohyblivých hatiach býva ich tvar prispôsobený použitej hradiacej konštrukcii, prípadne jej ovládaniu.

Tvarom horného obrysu spodnej stavby je možné výrazne ovplyvniť hodnotu prepadového súčiniteľa μ_p (Kap. 5.6.1.1) a pri rovnakej prepadovej výške vody cez hať dosiahnuť čo najmenšiu efektívnu šírku hate a tým znížiť náklady na výstavbu. Najmä v prípade pevných hatí je ideálnym tvarom priepadovej plochy – tzv. *prúdnicový tvar*. Tvar horného obrysu hatí bol v minulosti determinovaný najmä konštrukčnými možnosťami a použitým materiálom. Až použitie betónu umožnilo navrhovať a konštruovať vhodne zaoblené priepadové plochy.

6.1.1.1 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy

Pri pohyblivých hatiach býva tvar koruny priepadu a priepadovej plochy 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 tlačnými ramenami v sklone 1 : 2, pri stavidle v sklone 1 : 1 a pri segmente s ťahnými ramenami nadväzuje valcovou plochou s polomerom $R = 0.12$ až 0.15 m a pokračuje šikmou plochou 1 : 0.7 (Obr. 6.2). 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 z dvižného uzáveru aj na vrchol zaobleného prahu.

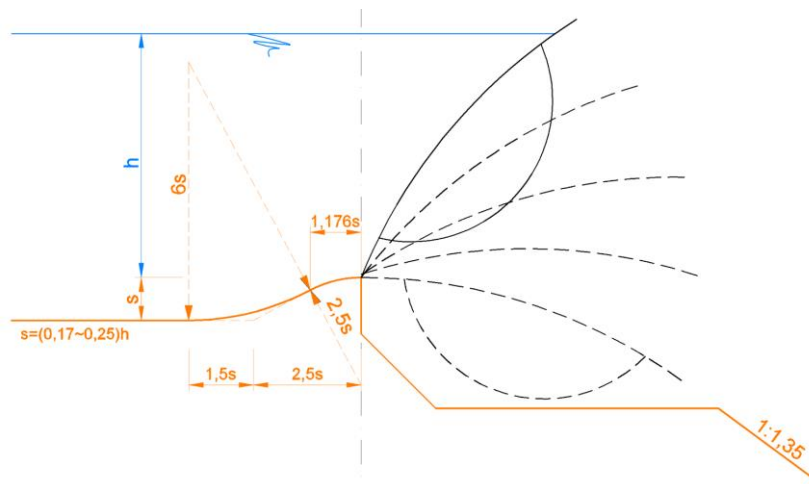


Obr. 6.2 Tvar priepadovej plochy za stavidlom, segmentom s tlačnými a segmentom s ťahnými ramenami bez prevýšenia nad dnom predhatia

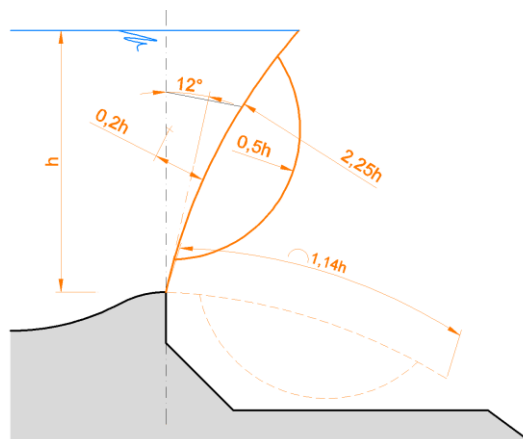
Najmä v prípade pohyblivých uzáverov je však výhodné navrhnuť horný obrys **prevýšený nad úrovňou predhatia**, a tak zmenšiť výšku uzáveru, a tým aj náklady na jeho zhotovenie.

V súčasnosti sa pre nízke hate navrhuje najmä plynule zaoblený Jamborov prah. Konštrukčné riešenia Jamborovho prahu je na Obr. 5.32.

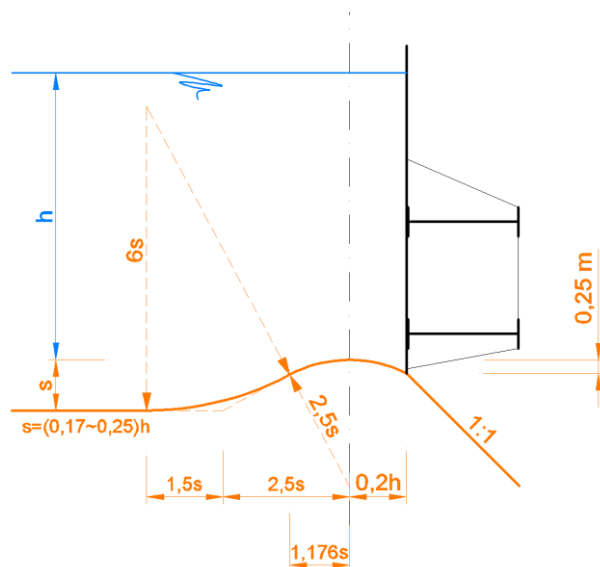
Samotný tvar priepadovej plochy je prispôsobený výtokovému alebo prepádovému lúču vody, ktorý závisí od typu uzáveru (**stavidlo, segment** – výtok, **klapka** – prepád). Keďže sa hydraulické parametre prúdenia vody líšia v závislosti od druhu uzáveru, líšia sa aj tvary priepadových plôch. Osadenie pohyblivého 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. 6.3) 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. Odporúčany tvar horného obrysu spodnej stavby hate v prípade použitia stavidlového uzáveru je na Obr. 6.5. Na Obr. 6.7. je uvedený príklad horného obrysu spodnej stavby v prípade použitia segmentu s ťahanými ramenami. Segmenty s ťahanými ramenami sú z hľadiska namáhania ramien na ťah priaznivejšie ako segmenty s tlačnými ramenami namáhanými na vzper. Avšak vzhľadom na to, že čapy a ramená segmentov s ťahanými ramenami sú umiestnené trvalo pod hladinou vody (vo vzdutí), dáva sa prednosť segmentom s tlačnými ramenami (Obr. 6.6).



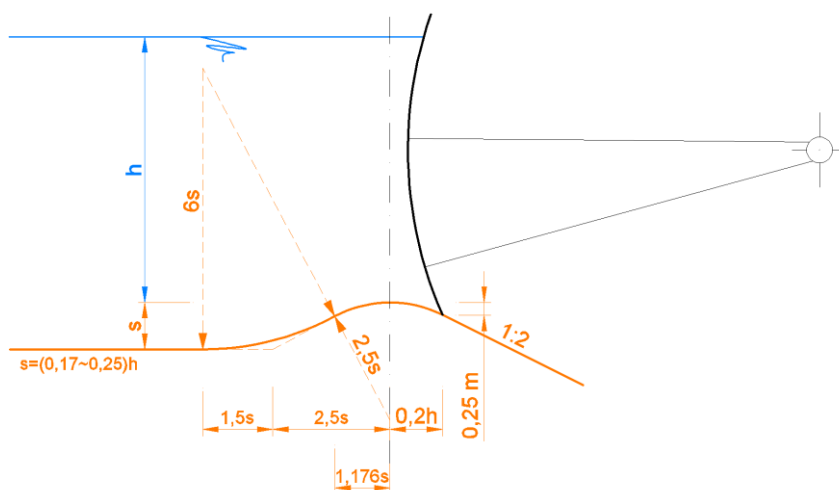
Obr. 6.3 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri umiestnení klapkového uzáveru na Jamborovom prahu



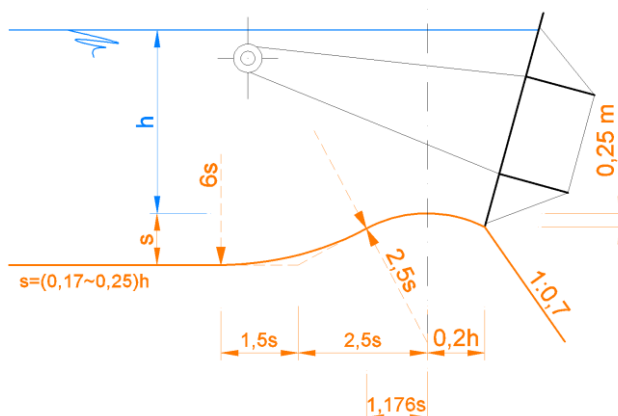
Obr. 6.4 Odporúčany tvar priečného rezu dutej klapky podľa výskumu na ČVUT v Prahe



Obr. 6.5 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri umiestnení stavidla na Jamborovom prahu



Obr. 6.6 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri segmente s tlačnými ramenami

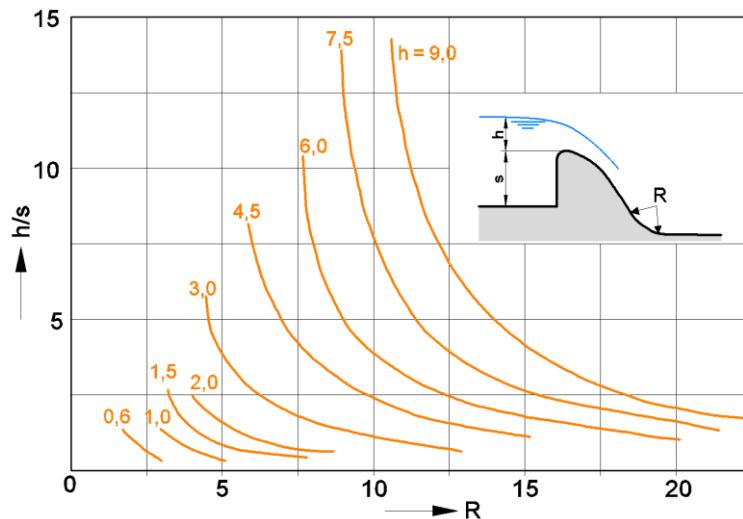


Obr. 6.7 Tvar koruny priepadu a priepadovej plochy pri segmente s ťahanými ramenami

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

6.1.1.2 Prechod medzi priepadovou plochou a vývarom

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. 6.8.



Obr. 6.8 Diagram určenia polomeru prechodovej plochy (R) medzi priepadovou plochou a vývarom

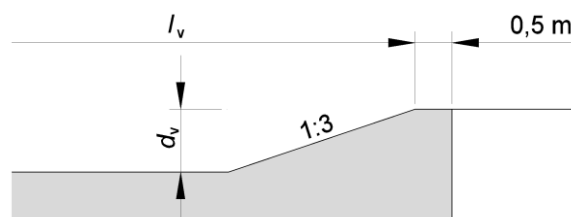
Prehĺbený vývar slúži na utlmenie vodného prúdu prepádajúceho cez hať.

6.1.1.3 Vývar

Prehĺbený vývar slúži na utlmenie vodného prúdu prepádajúceho cez hať. Jeho základné rozmery, **hlbku** – d_v a **dĺžku** – l_v je možné stanoviť pomocou hydrotechnických výpočtov v zmysle Kap. 5.8.2.

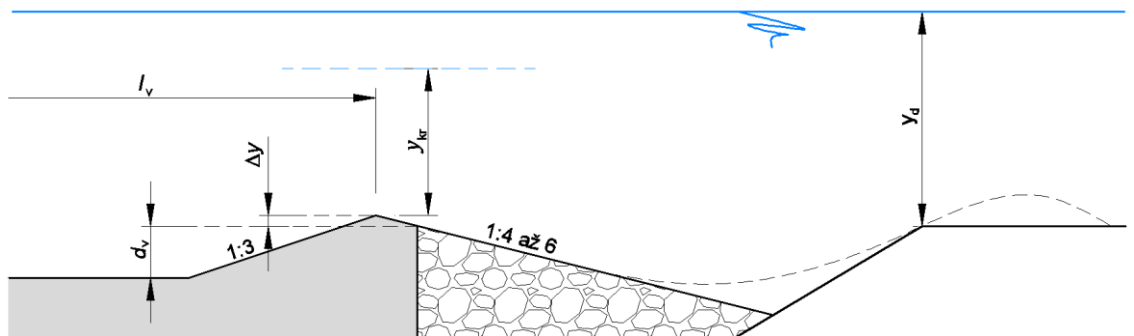
Výskum preukázal, že z hľadiska intenzity tvorby výmoľov, je výhodné prah mierne navýšiť nad úroveň dna pod haťou.

Dno vývaru sa navrhuje vodorovné, ukončené **prahom**. Napriek tomu, že samotný vývar nedokáže zabrániť tvorbe výmoľov, tvarom prahu vývaru 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. 6.9). 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).



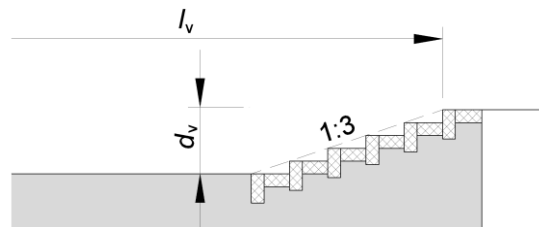
Obr. 6.9 Konštrukčné usporiadanie šikmého prahu vývaru

Výskum preukázal, že z hľadiska intenzity tvorby výmoľov, je výhodné prah mierne navýšiť o výšku Δy nad úroveň dna pod haťou a jeho poprúdnou časť navrhnuť v sklone 1 : 4 až 6. Hĺbka vody nad zvýšeným prahom však musí byť väčšia než kritická hĺbka y_{kr} (6.10). Podľa Kolář a kol. [16] má byť výška tzv. *strechového prahu* nad dnom $\Delta y < 0.7d_v$, resp. $\Delta y < 0.17y_d$. Na prah potom nadväzuje ťažká kamenná zahádzka v sklone, ktorý vystihuje tvar výmoľu, t. j. 1 : 4 až 6 (Obr. 6.10). V pôdoryse sa prah navrhuje väčšinou **priamy** alebo na oboch stranách v dĺžke 1/5 šírky vývaru zalomený o 20° až 30°.



Obr. 6.10 Konštrukčné usporiadanie prahu strechového tvaru

Stupňovitý prah vývaru v sklone 1 : 3 (Obr. 6.11) sa navrhuje iba na tokoch bez chodu splavenín. Výmole za takýmto typom prahu sú o niečo menšie, ale rozdiely sa znižujú s trvaním prietoku a zväčšovaním hĺbky y_d . Vzhľadom na to, že sa stupňovitý prah spravidla obkladajú žulovými kvádrmi, je stupňovitý prah nákladnejší. Napriek tomu sa jeho hrany ľahko poškodzujú nárazmi plávajúcich predmetov a ťadových krýh.



Obr. 6.11 Konštrukčné usporiadanie stupňovitého prahu vývaru

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. 6.6).

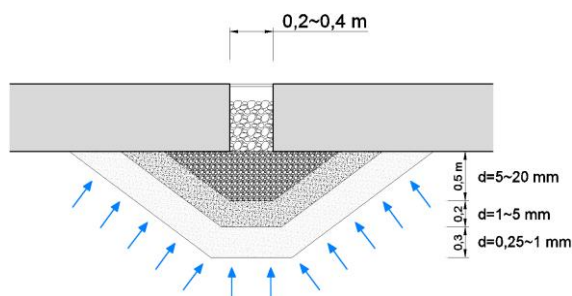
Hrúbka vývarovej dosky závisí od rozdielu hladín nad a pod haťou a na geologických podmienkach podložia. Pri zakladaní na priepustnom podloží býva hrúbka obvykle 2 až 5 m. V prípade, že je vývarová doska zakladaná na skalnom podloží, navrhuje sa obvyčajne cca 1 m hrubá a ukotvená do podložia. Predbežný návrh hrúbky vývarovej dosky je uvedený v Kap. 5.8.2.4.

Pre odľahčenie vztľaku a prípadné zmenšenie hrúbky vývarovej dosky sa v nej môžu navrhnuť 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

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

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

2 až 5 m. Proti vyplachovaniu jemných zŕn zo základovej zeminy pod vývarom cez drenážne otvory (tzv. *sufózií*) sa navrhuje tzv. *obrátенý filter*, ktorý sa navrhuje zvlášť pod každým drenážnym otvorom (Obr. 6.12), resp. v „jednom kuse“ pod celou vývarovou doskou). 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.



Obr. 6.12 Drenážny otvor vývarovej dosky s 3-vrstvovým obrátенým filtrom zabraňujúcim sufóziám 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 *rozrážачe*. Ich tvar, rozmery a rozmiestnenie je nutné určiť modelovým výskumom. Bližšie je problematika návrhu rozrážачov popísaná napr. v [37].

Vývar je nutné navrhnuť 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 kôš 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.



Úloha č. 10

V zmysle vyššie uvedeného je potrebné navrhnuť horný obrys spodnej stavby pohyblivej hate. Konštantná hladina nad haťou je udržiavaná pomocou manipulácie s obojstranne zavesenými klapkovými uzávermi.



Riešenie úlohy č. 10:

Pri použití klapkového pohyblivého uzáveru sa horný obrys spodnej stavby hate navrhuje tak, aby pri každej polohe klapky dopadal prepadajúci lúč na šikmú priepadovú plochu horného obrysu (pozri Obr. 6.3). Tvar priečného rezu dutej klapky je možné riešiť podľa výskumu ČVUT v Prahe (Obr. 6.14). Prechodová plocha medzi priepadovou plochou a vývarovou doskou je riešená v zmysle Obr. 6.8. Konštrukcia vývaru a šikmého prahu vývaru je riešená v zmysle Obr. 6.9. Výsledný návrh horného obrysu je uvedený na Obr. 6.13.

Parametre horného obrysu spodnej stavby klapkovej hate:

$$\begin{aligned}
 s &= 0.4 \text{ m} && (\text{pozri Kap. 5.6.1.1}) \\
 h &= K_1 - K_2 - s = 227.6 - 225.0 - 0.4 = 2.2 \text{ m} && (\text{v zmysle Obr. 5.39}) \\
 d_v &= 1.0 \text{ m} && (\text{pozri Kap. 5.8.2.2}) \\
 l_v &= 13.50 \text{ m} && (\text{pozri Kap. 5.8.2.3}) \\
 h/s &= 2.2/0.4 = 5.5 \Rightarrow \text{Obr. 6.8} \Rightarrow R \cong 4.0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

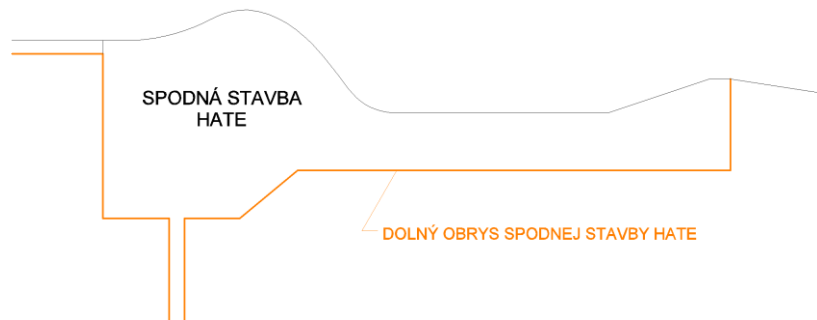
Obr. 6.13 Návrh horného obrysu spodnej stavby hate v lokalite Hliník nad Hronom – priečny rez

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

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

6.1.2 Návrh tvaru dolného obrysu 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. 6.14.



Obr. 6.14 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.

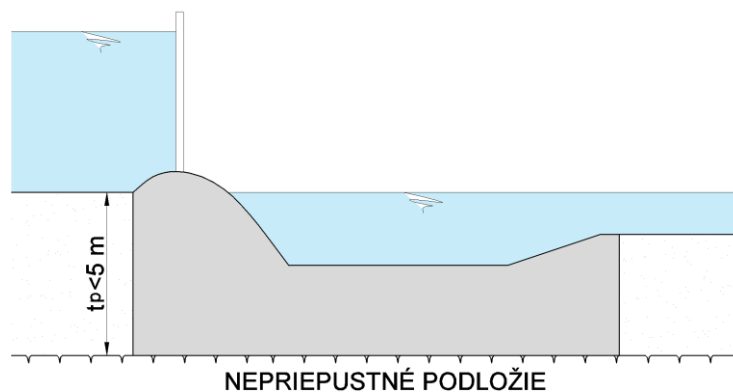
Základ hate nie je typizovanou konštrukciou, a je nutné ho navrhnuť vždy podľa individuálnych podmienok. Napriek tomu, je však možné stanoviť niektoré všeobecné zásady zakladania pre rôzne typické podmienky.

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 prispôbuje 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. 6.15).



Obr. 6.15 Charakteristické zakladanie hate v prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke do 5 m – schéma

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

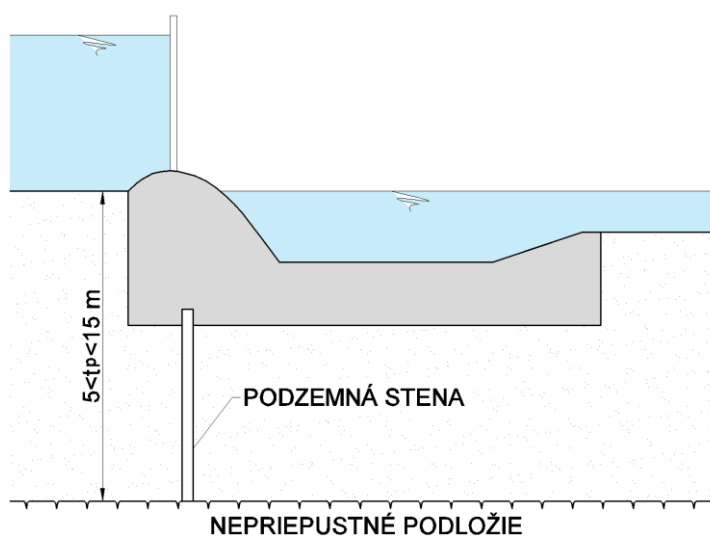
Ak je skalné podložie v hĺbke od 5 do 15 m, tak sa po tieto vrstvy zabudujú podzemné steny.

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.

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.

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 alebo krátka zvislá tesniaca stena.

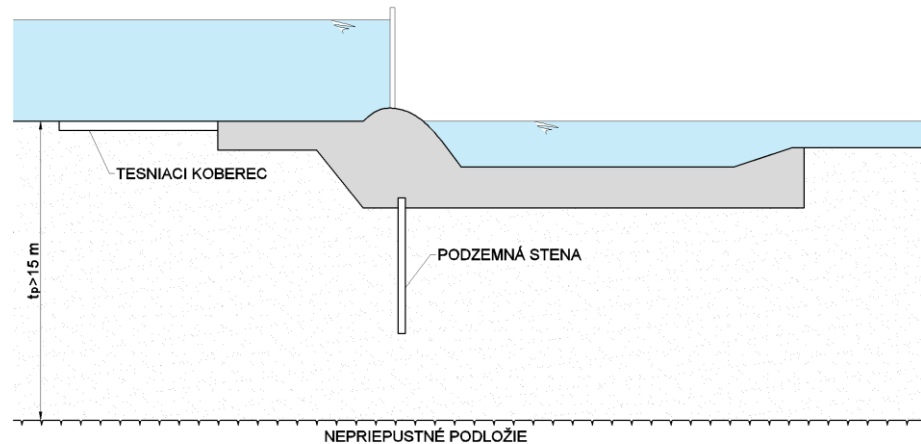
Ak je **skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke od 5 do 15 m**, t. j. ak sú únosné či nepriepustné vrstvy v reálnom dosahu pod základovou škárou, tak sa po tieto vrstvy zabudujú podzemné steny (Obr. 6.16), pretože budovať betónovú spodnú stavbu hate do takýchto hĺbok je technologicky náročné a nehospodárne.



Obr. 6.16 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 utesneniu podložia. Typ podzemnej steny je daný geologickou stavbou a vlastnosťami priepustnej vrstvy, ekonomickými a bezpečnostnými požiadavkami. V prípade hlinito-piesčitého alebo štrkopieskového podložia je najekonomickejšim riešením *štetovnicová oceľová stena*. Štetovnicové steny je možné zabarať do hĺbky cca 10 m, ale v priaznivých geologických podmienkach (napr. jemné piesky) až do hĺbky 20 m. Podzemnú stenu je možné navrhnuť nie len na návodnej, ale aj na vzdušnej strane, najmä v prípade, ak za haťou očakávame tvorbu hlbokých výmoľov. V prípade, že sa v podloží vyskytujú vo väčšom množstve veľké balvany nie je možné do takéhoto podložia štetovnicu zabarať, je nutné ju nahradiť monolitickou alebo prefabrikovanou stenou, prípadne vytvoriť stenu z vŕtaných pilót.

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. 6.17. 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.



Obr. 6.17 Charakteristické zakladanie hate v prípade, že je skalné, resp. nepriepustné podložie v hĺbke väčšej ako 15 až 20 m – schéma

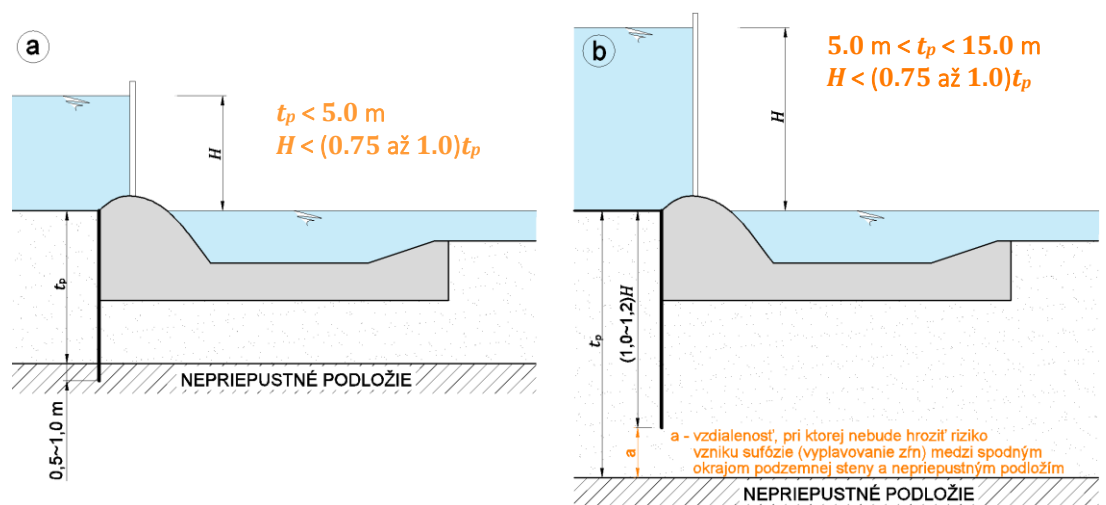
V niektorých prípadoch, je nutné pre dostatočné predĺženie priesakovej filtračnej dráhy navrhnuť zvislý tesniaci prvok aj na návodnej strane spodnej stavby hate (Obr. 6.22).

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.

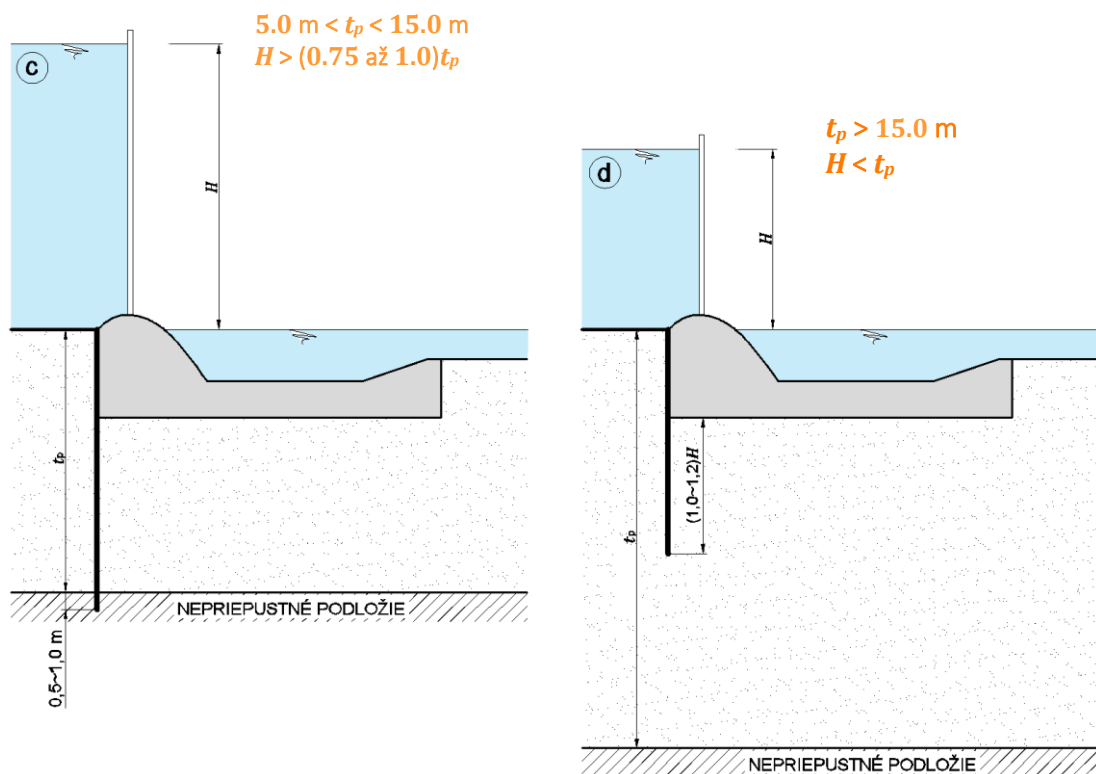
K úplnému, resp. čiastočnému utesneniu podložia obyčajne postačuje jedna tesniaca stena na návodnej strane.

6.1.2.1 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. 6.19 a Obr. 6.19.



Obr. 6.18 Orientačná návrhová dĺžka zvislého tesniaceho prvku



Obr. 6.19 Orientačná návrhová dĺžka zvislého tesniaceho prvku

K úplnému, resp. čiastočnému utesneniu podlažia 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 podlažia. Aby sa uplatnil účinok zvislých tesniacich prvkov na zníženie filtračných rýchlostí v podlaží mala by byť minimálna vzdialenosť medzi dvoma zvislými tesniacimi prvkami L_{min} (Obr. 6.20a):



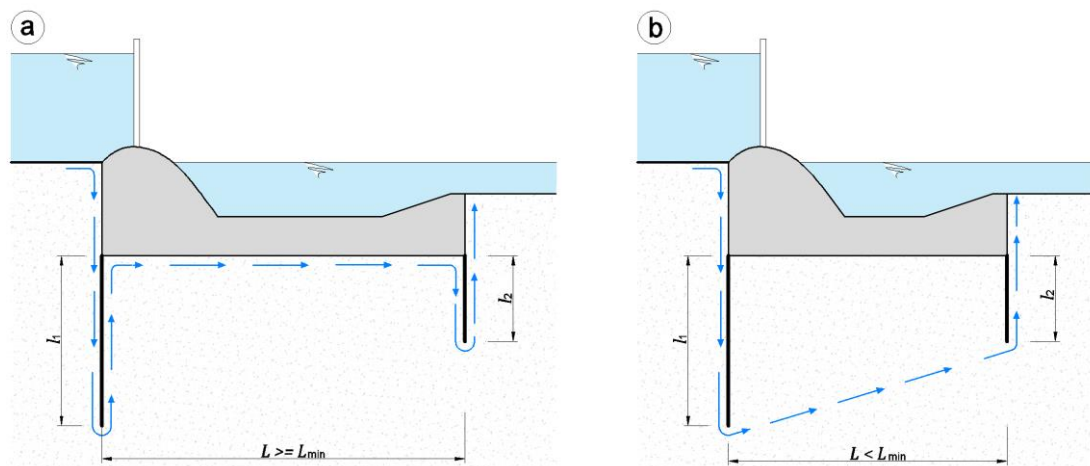
$$L_{min} = 1,5 \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (6.1)$$

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 menšia ako L_{min} (Obr. 6.20b), mohlo by prísť v dôsledku neúčinnosti predĺženia spodného obrysu hate k prekročeniu očakávaných filtračných rýchlostí v podlaží a k zvýšeniu hodnoty očakávaného vztlaku v základovej škáre telesa hate (Kap. 7.1.4).

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 podlaží a k zvýšeniu vztlaku.

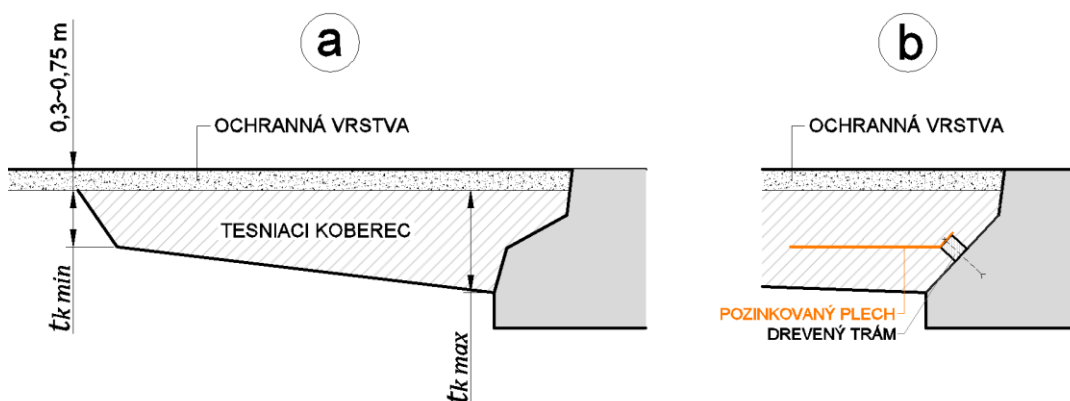


Obr. 6.20 Vplyv vzdialenosti zvislých tesniacich prvkov na filtračné prúdenie v podlaží

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

6.1.2.2 Vodorovné tesniace prvky

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. 6.1.2.1). 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. 6.21). V prípade, že nie je v blízkosti stavby vyhovujúci materiál, použijú sa umelé tesniace hmoty ako betón, asfaltobetón a pod.



Obr. 6.21 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 haťové teleso je možné stanoviť podľa vzťahu:



$$t_{k \max} = \frac{\Delta H}{i_{dov}} \quad [\text{m}] \quad (6.2)$$

**Zvýšenú pozornosť
treba venovať
napojeniu koberca na
pevné teleso hate.**

kde:

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

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

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 je potrebné venovať napojeniu koberca na pevné teleso hate. Koberec sa pripája prostým dotykom na zošíkmenú, resp. zazubenú plochu (Obr. 6.21a), na ktorú vodný tlak koberec pritláča. Vodotesnosť je možné zvýšiť vložením pozinkovaného plochu, resp. asfaltovej dosky, a to po celej šírke koberca (Obr. 6.21b). Povrch koberca sa chráni vrstvou štrkopiesku alebo štrku hrubou 0.3 až 0.75 m. V prípade, že rýchlosti pred haťou sú väčšie ako nevymieľacie rýchlosti použitého materiálu, je nutné chrániť tesniaci koberec napr. *kamennou dlažbou* (Kap. 6.3). 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. Bližšie je problematika konštrukčného riešenia opatrení proti priesakom okolo brehových krídiel popísaná v [37].

6.1.2.3 Posúdenie dolného obrysu spodnej stavby hate

Pre predbežný návrh hatí alebo pri jednoduchých geologických podmienkach je možné pre posúdenie dĺžky dolného obtekaného obrysu spodnej stavby hate použiť približnú metódu podľa Lane-a, založenú na analýze príčin prelomenia podložia (t. j. stavu, ktorý nastane v prípade, že tlak presakujúcej vody pod haťou je väčší ako tiaž zeminy nadlahčovanej vztlakom) pod niekoľkými haťami v Indii.

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



$$L \geq C_0 H \quad (6.3)$$

kde:

C_0 – je súčiniteľ charakterizujúci podložie – pozri Tab. 6.1 [-],

H – maximálny rozdiel hladín nad a pod haťou [m].

Tab. 6.1 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



Utesnenie
priepustného podlažia
v zvislom je podstatne
účinnnejšie ako
vo vodorovnom smere.

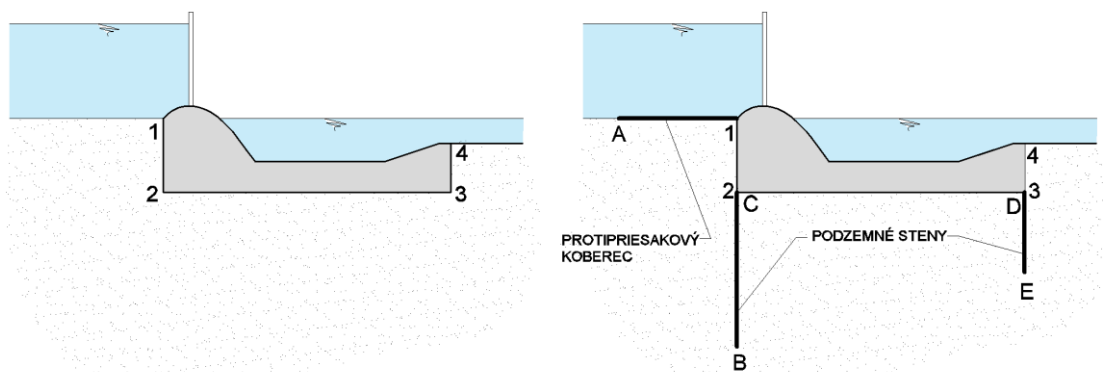
Pri konštrukcii
rozvinutého obrysu
základu hate sa
uvažuje, že zvislé dĺžky
sa zarátajú
do rozvinutej dĺžky
celou dĺžkou
a vodorovné iba jednou
tretinovou.

$$L = \sum L_V + \frac{1}{3} \sum L_H \quad (6.4)$$

kde:

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

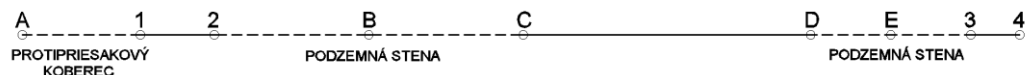
Časti základovej škáry, ktoré sú vytvorené pod uhlom väčším ako 45° , sa uvažujú ako zvislé.
 Časti základovej škáry, ktoré sú vytvorené pod uhlom rovným alebo menším ako 45° , sa uvažujú ako vodorovné.



OBTEKANÝ OBRYS ZÁKLADU HATE PRI NEPOUŽITÍ PROTIPRIESAKOVÝCH PRVKOV



OBTEKANÝ OBRYS ZÁKLADU HATE PRI POUŽITÍ PROTIPRIESAKOVÝCH PRVKOV



Obr. 6.22 Konštrukcia obtekaného obrysu základu hate

V zmysle Obr. 6.22 je možné rozvinutý obtekaný obrys hate pri nepoužití protipriesakových prvkov vypočítať takto:

$$L = \sum L_V + \frac{1}{3} \sum L_H = (L_{12} + L_{34}) + \frac{1}{3} L_{23} \quad (6.5)$$

Rozvinutý obtekaný podzemný obrys hate pri použití protipriesakových prvkov je možné vypočítať takto:

$$L = \sum L_V + \frac{1}{3} \sum L_H = (L_{12} + L_{2B} + L_{BC} + L_{DE} + L_{E3} + L_{34}) + \frac{1}{3} (L_{A1} + L_{CD}) \quad (6.6)$$



Úloha č. 11

V zmysle vyššie uvedeného je potrebné navrhnuť a posúdiť dolný obrys spodnej stavby predmetnej hate. Nepriepustné podložie tvorené zmesou tufov a ílov je v hĺbke cca 20 m. Podložie hate je tvorené priepustnou vrstvou štrkov strednej frakcie s prímесou jemnozrnného piesku.



Riešenie úlohy č. 11:

Vzhľadom na to, že nepriepustné podložie je v hĺbke viac ako 15 m, nie je hospodárne zaviazat zvislé tesniace prvky až do nepriepustného podložia. Bezpečnosť stavby pritom vyžaduje to, aby filtračné rýchlosti v priepustnom podloží boli vždy menšie ako rýchlosť spôsobujúca sufóziu, a aby vztlakové sily nenadľahčovali teleso hate do tej miery, že by prišlo napr. k jeho posunutiu (Kap. 8.1.2).

V prvom kroku riešenia je vhodné posúdiť dolný obtekaný obrys hate podľa Laneho (6.3) bez akýchkoľvek navrhnutých tesniacich prvkov. Až následne, v prípade, že tomuto posúdeniu dolný obrys hate nevyhoví, treba pristúpiť k ich návrhu. Je však nutné upozorniť, že v prípade vzťahu (6.3) ide o posúdenia orientačné a filtračné rýchlosti je možné stanoviť aj inými podstatne presnejšími metódami. Podľa [29] sú to v súčasnej dobe najmä matematické modely, ktoré riešia prúdenie vody podložím hate napr. metódou konečných prvkov.



Výpočet:

$$C_0 = 3.5$$

(pozri Tab. 6.1 – stredný štrk)

$$H = K_1 - K_3 = 227.6 - 224.0 = 3.6 \text{ m (v zmysle Obr. 5.39 a Obr. 6.13)}$$

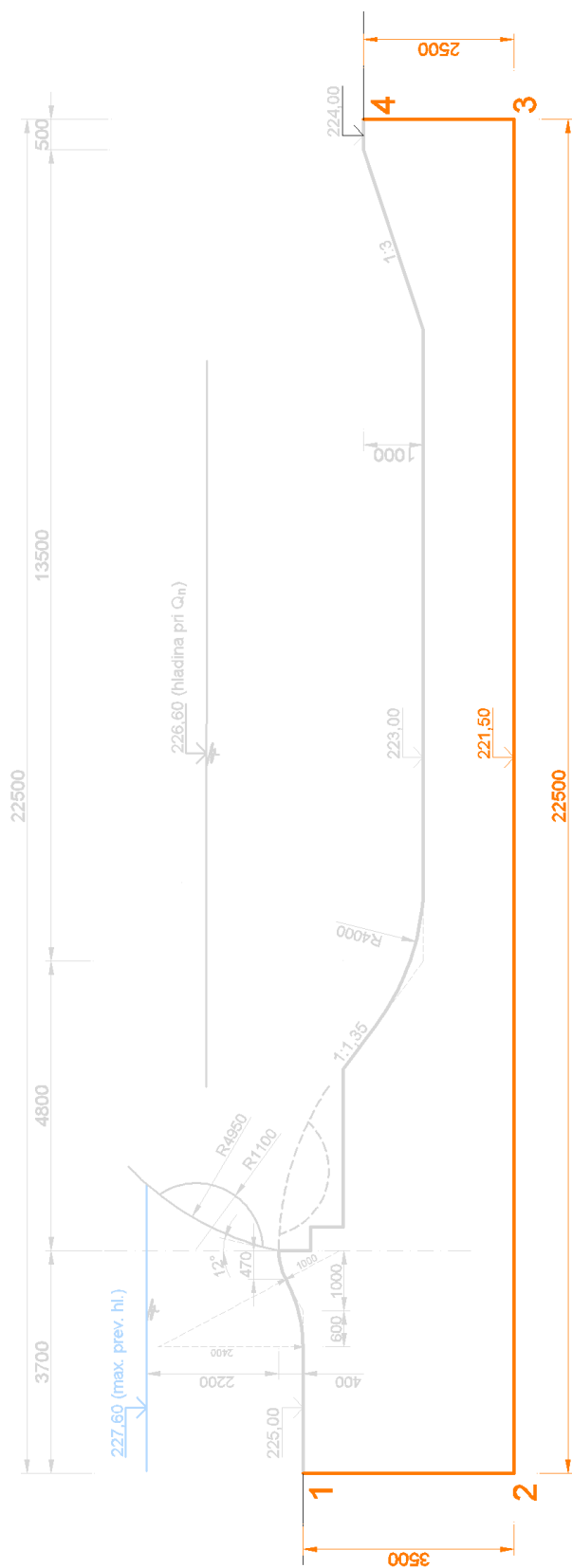
$$L = \sum L_V + \frac{1}{3} \sum L_H = (L_{12} + L_{34}) + \frac{1}{3} L_{23} = (3.5 + 2.5) + \frac{1}{3} 22.5 = 13.5 \text{ m (podľa (6.5))}$$

$$L \geq C_0 H \quad 13.5 \text{ m} \geq 3.5 \cdot 3.6 = 12.6 \text{ m} \Rightarrow \text{VYHOVUJE (podľa (6.3))}$$

Poznámka:

Pri výpočte rozdielu hladín nad a pod haťou H sa predpokladá, že ide o maximálny spád, ktorý môže reálne pri prevádzke, resp. výstavbe nastať. Za najnepriaznivejší zatažovací stav sa pritom považuje situácia, keď hladina nad haťou je na maximálnej hladine a vývar je „bez vody“, napr. v prípade revízie vývaru, resp. počas výstavby hate. V zmysle koncepcie predmetnej hate popísanej v rámci riešenia úlohy č. 1, je zrejmé, že v koryte nad haťou môžu byť aj vyššie hladiny ako je maximálna prevádzková hladina K_1 a najnepriaznivejší stav teda nie je pri uvažovaní maximálnej prevádzkovej hladiny. Pre účely výpočtu v tejto publikácii sa však uvažuje s kótou K_1 .

Aj v prípade, že navrhnutý spodný obrys hate vyhovuje posúdeniu z pohľadu filtračných rýchlostí v podloží, či už podľa Laneho, resp. podľa inej metódy, je následne potrebné celú konštrukciu hate staticky posúdiť v zmysle Kap. 8.



Obr. 6.23 Návrh dolného obrysu spodnej stavby hate v lokalite Hliník nad Hronom – priečny rez



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

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

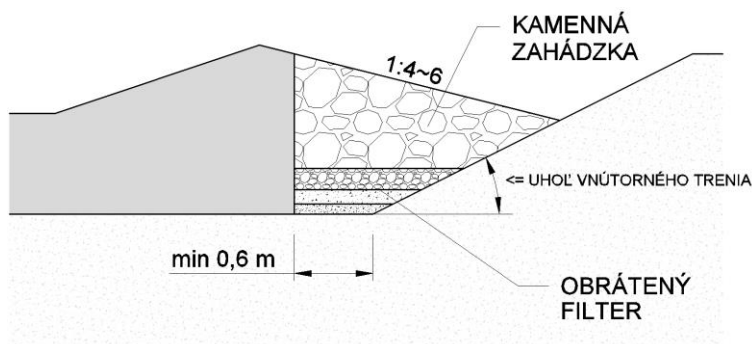
6.2 Opevnenia dna za podhatím (vývarom)

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

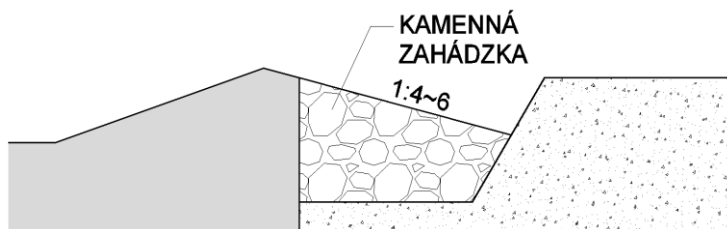
- **odolné**, aby odolávalo účinkom vodného prúdu a nebolo odplavené,
- **pružné**, aby bolo schopné sa prispôbiť (bez prerušenia svojej ochrannej funkcie) poklesom dna, ktoré môžu vzniknúť jeho vymieľaním,
- **priepustné**, aby nezväčšovalo vztlak na haťové teleso aj vývar,
- **drsné**, aby „brzdilo“ 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. 6.24). V prípade, že dno koryta je tvorené hrubozrnnnejším materiálom, nemusí byť pod kamennou zahádzkou podklad (Obr. 6.25). 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 (6.8) a (6.9).



Obr. 6.24 Opevnenie dna koryta za prahom vývaru kamennou zahádzkou – jemnozrnný materiál podložia

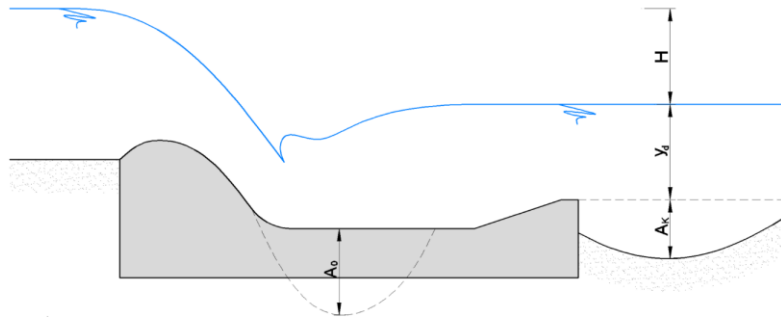


Obr. 6.25 Opevnenie dna koryta za prahom vývaru kamennou zahádzkou – hrubozrnný materiál podložia

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

6.2.1 Návrh parametrov opevnenie dna za haťou

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. 6.26 Výmoľ za vývarom klasického typu

Pre výpočet konečnej **hĺbky výmoľa A_K** v nesúdržnej zemine dna toku za vývarom klasického typu (Obr. 6.26) je podľa Nováka [24] možné použiť empirický vzťah:

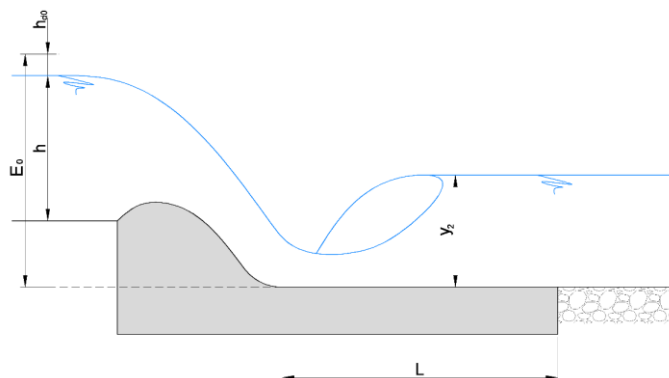


$$A_K = cA_0 = c \left[6H^{0.25} q^{0.5} \left(\frac{y_d}{d_{90}} \right)^{\frac{1}{3}} - y_d \right] \quad [\text{m}] \quad (6.7)$$

kde:

- c – je 0.45 až 0.65 pre mieru vzdutia $\sigma = 1.0$ až 1.6,
- A_0 – hĺbka výmoľu v prípade, že by za haťou nebol vybudovaný vývar [m],
- H – rozdiel medzi hornou a dolnou vodou [m],
- q – špecifický prietok haťou [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$],
- y_d – hĺbka dolnej vody pri prietoku q [m],
- d_{90} – 90 % zrno dna koryta [mm].

Aby výmole vznikajúce za podhatím neohrozili stabilitu hate, je nutné previesť opevnenie dna. Pri dostatku miestneho kameňa aj ekonomicky je najvýhodnejšia tzv. *kamenná zahádzka* (Obr. 6.27).



Obr. 6.27 Opevnenie dna koryta za vývarom kamennou zahádzkou

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.

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

Stredný priemer kameňov zahádzky d v metroch je možné približne určiť zo vzťahu Pavlovského (pre E_0/y_{kr} v rozmedzí 3,2 až 5,4) nasledovne:

- pre $L/y_2 = 5$ až 10

$$\frac{v_2}{\sqrt{gd}} = 0.14 \sqrt{\left(\frac{L}{y_2} + 5.4\right)^2 - 12.7 \left(\frac{E_0}{y_{kr}} - 3\right)^2} - 0.22 \quad [\text{m}] \quad (6.8)$$

- pre $L/y_2 = 10$ až 15

$$\frac{v_2}{\sqrt{gd}} = 0.10 \sqrt{\left(\frac{L}{y_2} + 11.5\right)^2 - 25 \left(\frac{E_0}{y_{kr}} - 3\right)^2} - 0.22 \quad [\text{m}] \quad (6.9)$$

kde:

- y_2 – je druhá vzájomná hĺbka vodného skoku [m],
- L – dĺžka betónovej dosky [m],
- v_2 – rýchlosť prúdenia v profile druhej vzájomnej hĺbky vodného skoku pri prietoku q , pri ktorom vznikne najväčší výmoľ [m.s⁻¹],
- E_0 – výška čiary energie pred haťou [m],
- y_{kr} – kritická hĺbka [m], ktorú je možné vypočítať zo vzťahu:

$$y_{kr} = 0.467 q^{\frac{2}{3}} \quad (6.10)$$

kde:

- g – gravitačné zrýchlenie [m.s⁻²] (= 9.81).

Priemer d vypočítaný podľa uvedených vzťahov sa v návrhu zväčší o 50 %, čím sa zoberie do úvahy aj nerovnomerné rozdelenie prietoku po šírke. Minimálny priemer kameňa na zahádzku sa navrhuje 0.3 m.

Poznámka:

Je nutné poznamenať, že (6.8) a (6.9) sú vzťahy empirické s nízkou spoľahlivosťou výsledných hodnôt, pri ktorých je nutné dodržať limity platnosti a predpokladať, že vypočítané hodnoty majú skôr odporúčací charakter.

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 za prahom vývaru:

$$L_{OK} = (10 \text{ až } 13) y_d \quad [\text{m}] \quad (6.11)$$

kde y_d je hĺbka dolnej vody pri prietoku, pri ktorom vznikne najväčší výmoľ [m].





Úloha č. 12

Je potrebné posúdiť aký hlboký výmoľ sa vytvorí za vývarom hate a navrhnúť opevnenie dna. Dno koryta za haťou tvoria nesúdržné štrky mocnosti až 20 m. Veľkosť 90 % zrna, $d_{90} = 35$ mm. Uhol vnútorného trenia podložia je $\phi = 40^\circ$.



1. krok riešenie úlohy č. 12:

V prvom kroku sa vypočíta predpokladaná hĺbka výmoľu v prípade, že by dno koryta za haťou nebolo opevnené.



Výpočet:

$c = 0.5 \in <0,45 \text{ až } 0,65>$,
 $b = 30$ m (pozri Kap. 5.6.3)
 $d_{90} = 35$ mm.

Tab. 6.2 Tabuľka výpočtu predpokladanej hĺbky výmoľu za haťou A_K

Q [m ³ .s ⁻¹]	y_d [m]	q [m ² .s ⁻¹]	H [m]	A_K [m]
	Obr. 5.28	(5.20)	(5.31)	(6.7)
10	0.44	0.3	3.16	0.09
30	0.84	1.0	2.76	0.57
50	1.14	1.7	2.46	1.12
70	1.39	2.3	2.21	1.68
90	1.62	3.0	1.98	2.24
110	1.82	3.7	1.78	2.78
130	2.01	4.3	1.59	3.30
150	2.19	5.0	1.41	3.79
170	2.35	5.7	1.25	4.25
190	2.51	6.3	1.09	4.66
200	2.60	6.7	1.00	4.86

Výpočet preukázal, že najväčšia hĺbka výmoľu vznikne pri maximálnom prietoku. Z výsledku vyplýva, že je nutné za vývarom navrhnúť opevnenie dna. Opevnenie sa navrhuje vo forme kamennej zahádzky.



2. krok riešenie úlohy č. 12:

V druhom kroku sa vypočíta potrebný stredný priemer kameňov zahádzky d . Ten bude odpovedať špecifickému prietoku, pri ktorom vznikne najväčší výmoľ.



Výpočet:

$q = 6.7 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$
 $y_2 = 3.09$ m (pozri Tab. 5.6)
 $L = 14.0$ m (pozri Obr. 6.13)
 $E_0 = 3.86$ m (pozri Tab. 5.6)

$$y_{kr} = 0.467 * 6.7^{\frac{2}{3}} = 1.66 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{q}{y_2} = \frac{6.7}{3.09} = 2.17 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\frac{L}{y_2} = \frac{14.0}{3.09} = 4.53$$

$$\frac{E_0}{y_{kr}} = \frac{3.86}{1.66} = 2.32 \Rightarrow \text{hodnota nie je v medziach platnosti použitého vzťahu (6.8), t. z., že sa použije hodnota 3.2}$$

$$\frac{2.17}{\sqrt{9.81d}} = 0.14 \sqrt{\left(\frac{14.0}{3.09} + 5.4\right)^2 - 12.7(3.2 - 3)^2 - 0.22} \quad (\text{podľa vzťahu (6.8)})$$

$$\frac{2.17}{\sqrt{9.81d}} = 1.17 \Rightarrow d = \left(\frac{2.17}{1.17 * \sqrt{9.81}}\right)^2 = 0.35 \cong 0.4 \text{ m}$$

*Stredný priemer kameňov zahádzky d je možné uvažovať s hodnotou **0.4 m**. Kamenná zahádzka je z hľadiska konštrukčného navrhovaná v zmysle Obr. 6.24.*



3. krok riešenie úlohy č. 12:

V treťom kroku sa vypočíta potrebná dĺžka opevnenia L_{OK} v závislosti od hĺbky dolnej vody zodpovedajúcej prietoku, pri ktorom vznikne najhlbší výmoľ.



Výpočet:

$$y_d = 2.6 \text{ m (pozri Tab. 6.2),}$$

$$L_{OK} = (10 \text{ až } 13)y_d = 10 * 2.6 \text{ až } 13 * 2.6 = 26 \text{ až } 33.8 \sim 30 \text{ m}$$

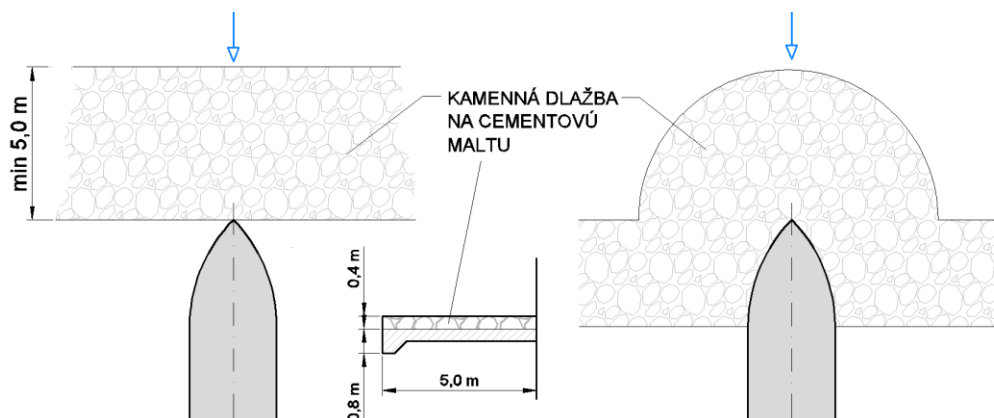
*Dĺžku opevnenia dna za prahom vývaru L_{OK} je možné uvažovať hodnotou **30 m**.*



6.3 Opevnenia dna pred haťou

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. 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 rovinaninu alebo dlažbu z dostatočne ťažkého kameňa** vysunutú na dostatočnú vzdialenosť do hornej vody (Obr. 6.28), 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.

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



Obr. 6.28 Návrh úpravy predhatia v prípade, že nie je použitý protipriesakový koberec

Opevnenie je potrebné navrhnuť aj v prípade protipriesakového koberca (Kap. 6.1.2.2 – Obr. 6.21), ak je navrhnutý z materiálu neodolného proti vymieľaniu (napr. íl).

6.3.1 Posúdenie stability dna pred haťou

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. 6.4 a pre nesúdržné zeminy Tab. 6.3, ktoré uvádzajú hodnoty nevymieľacích rýchlostí pri hĺbke vody 1 m. Pri hĺbkach iných ako 1 m je nutné uvedené hodnoty prepočítať podľa vzťahu:



$$v_{nh} = v_{n1} \sqrt[5]{y_h} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (6.12)$$

kde:

- v_{n1} – je nevymieľacia rýchlosť podľa Tab. 6.4, resp. Tab. 6.3 [m.s^{-1}],
 y_h – hĺbka vody v zdrži nad haťou [m].

Tab. 6.3 Nevymieľacia rýchlosť v_{n1} pre nesúdržné zeminy

Zemina	Rozmery zŕn [mm]	Nevymieľacia rýchlosť v_{n1} [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

Tab. 6.4 Nevymieľacia rýchlosť v_{n1} pre súdržné zeminy

Zemina	Obsah častíc [%]		Nevymieľacia rýchlosť v_{n1} [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 hlíny	20 – 30	80 – 70	0.4	0.85	1.20	1.70
ľahké hlíny	10 – 20	90 – 80	0.4	0.80	1.20	1.70
spraše				0.70	1.00	1.30

**Úloha č. 13**

Je potrebné posúdiť stabilitu dna pred haťou proti vymieľaniu a v prípade potreby navrhnúť vhodné opevnenie dna. Dno koryta pred haťou tvoria nesúdržné štrky s $d_{90} = 35$ mm.

**Riešenie úlohy č. 13:**

Vzhľadom na to, že pohyblivým uzáverom predmetnej hate je klapka, najväčšie nebezpečenstvo simulácie je pri úplnom vyhradení (sklopení) klapky. Najväčšia rýchlosť prúdenia pred haťou – v bude pri prevádzaní kapacitného prietoku hate $Q = 201$ m³.s⁻¹ (pozri Kap. 5.7).

**Výpočet:**

$$v_{n1} = 1.7 \text{ m.s}^{-1} \quad (\text{pozri Tab. 6.3 – stredné valúny})$$

$$y_h = 2.6 \text{ m} \quad (\text{pozri Obr. 5.32})$$

$$v_{nh} = v_{n1} \sqrt[5]{y_h} = 1.7 * \sqrt[5]{2.6} = 2.0 \text{ m.s}^{-1} \quad (\text{podľa vzťahu (6.12)})$$

$$v = \frac{Q}{by_h} = \frac{201}{30 * 2.6} = 2.6 \text{ m.s}^{-1} > 2.0 \text{ m.s}^{-1}$$

Z posúdenia je zrejmé, že dno pred haťou nie je odolné proti vymieľaniu. Opevnenie dna pred haťou je z hľadiska konštrukčného navrhované v zmysle Obr. 6.28.

**6.4 Deliace piliere**

Deliace piliere hate slúžia na oddelenie jednotlivých haťových polí. Ich tvar (najmä tvar predného, resp. zadného zhlavia) má výrazný vplyv na kapacitu hate, hladinu v zdrži nad haťou, na vznik vírových oblastí a následnú tvorbu výmoľov, či už pred predných alebo za zadným zhlavím piliera.

Podľa výskumu Čábelku [3] má optimálny tvar (t. j. tvar, pri ktorom nedochádza ku kontrakcii prúdu pretekajúceho haťovým poľom) prúdníkového piliera štíhlostný pomer:

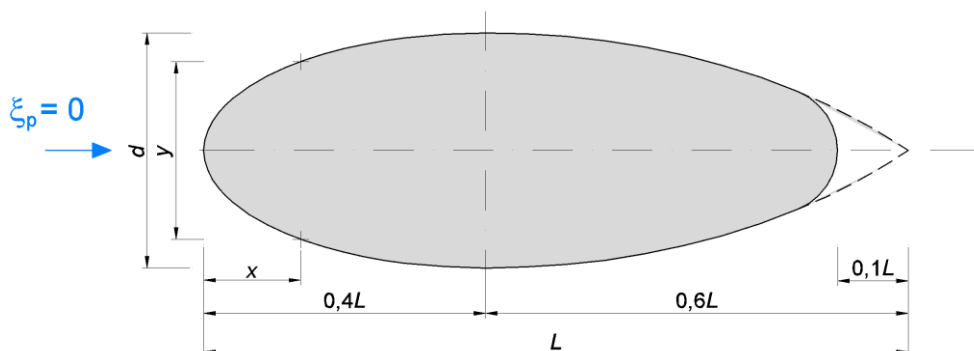


$$\lambda = \frac{L}{d} = 3 \sim 3.5 \quad (6.13)$$

kde:

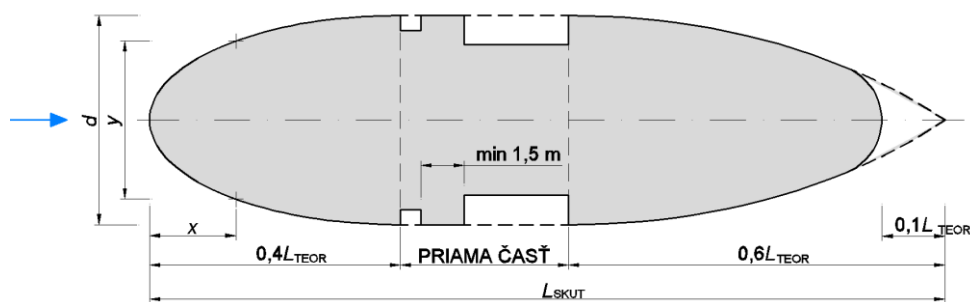
- L – je teoretická dĺžka piliera,
- d – šírka deliaceho piliera.

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



Obr. 6.29 Prúdníkový tvar deliaceho piliera

Súradnice prúdníkového tvaru piliera je možné odvodiť z pomerných hodnôt uvedených v Tab. 6.5, 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 $(0.1 \text{ až } 0.15)L$ 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. 6.30).



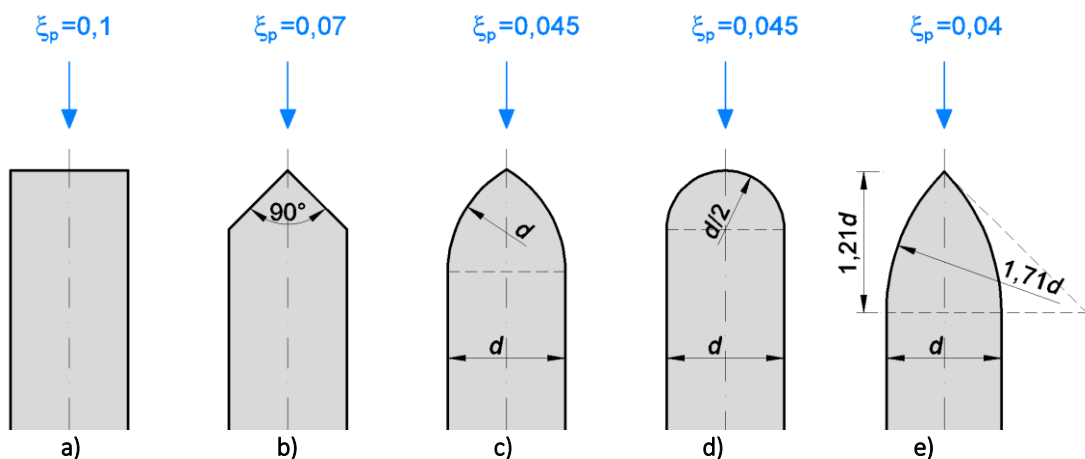
Obr. 6.30 Príklad prúdníkového tvaru deliaceho piliera s vloženou priamou časťou pre umiestnenie drážok provizórneho hradenia a drážok pohyblivého uzáveru

Tab. 6.5 Súradnice prúdníkového tvaru haťového 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

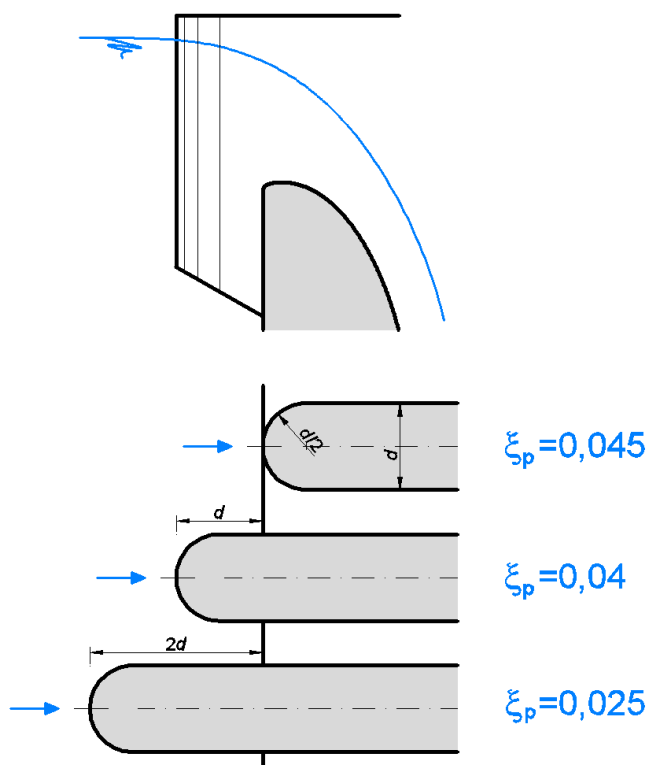
zadné zhlavie							
x/L	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1.0
y/d	0.976	0.905	0.782	0.600	0.367	0.187	0.0

Pri menej významných konštrukciách je možné navrhnuť aj iné tvary zhlavia deliacich pilierov (Obr. 6.31).



Obr. 6.31 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. 6.32).



Obr. 6.32 Vplyv predsadenia čela piliera pred priepadovú hranu hate na súčiniteľ kontrakcie

6.4.1 Predbežný návrh šírky deliacich pilierov

Pre predbežný návrh šírky *deliaceho piliera*, ktorý z titulu použitia uzáveru nepotrebuje zvislé drážky, napr. klapka, segment (Obr. 6.33), je možné pre svetlé šírky b_1 haťových polí použiť odporúčania podľa Berezinského [3]:

$$\begin{aligned} b_1 = 10 \text{ m} &\rightarrow d = 0.20 \sim 0.25 b_1 \\ b_1 = 20 \text{ m} &\rightarrow d = 0.12 \sim 0.16 b_1 \\ b_1 = 30 \text{ m} &\rightarrow d = 0.10 \sim 0.13 b_1 \end{aligned} \quad (6.14)$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{segmentový a klapkový uzáver} & \quad d = 0.8\sqrt{b_1} - 0.20 \text{ [m]} \\ \text{stavidlový uzáver} & \quad d = 0.9\sqrt{b_1} - 0.35 \text{ [m]} \\ \text{valcový uzáver} & \quad d = \sqrt{b_1} + 0.20 \text{ [m]} \end{aligned} \quad (6.15)$$

Typické tvary deliacich pilierov sú pre jednotlivé typy uzáverov znázornené na Obr. 6.33.

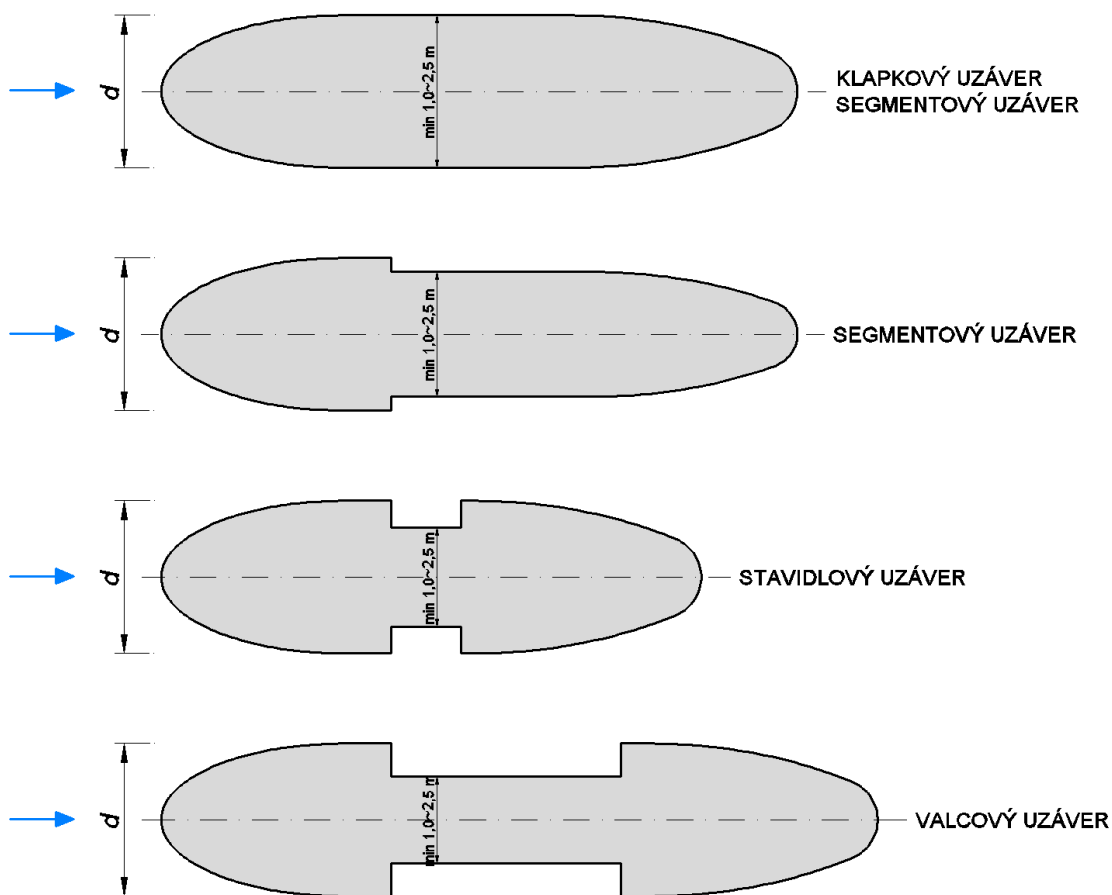
Časť piliera medzi drážkami nemá byť užšia ako 1.0 až 1.5 m pre nižšie hradiace výšky (do cca 3 m) a 2.0 až 2.5 m pre vyššie hradiace výšky (Obr. 6.33). **V prípade, že je pilier delený v strede pozdĺžnou dilatačnou škárou zväčšuje sa jeho šírka o 0.5 až 1.0 m.**

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.

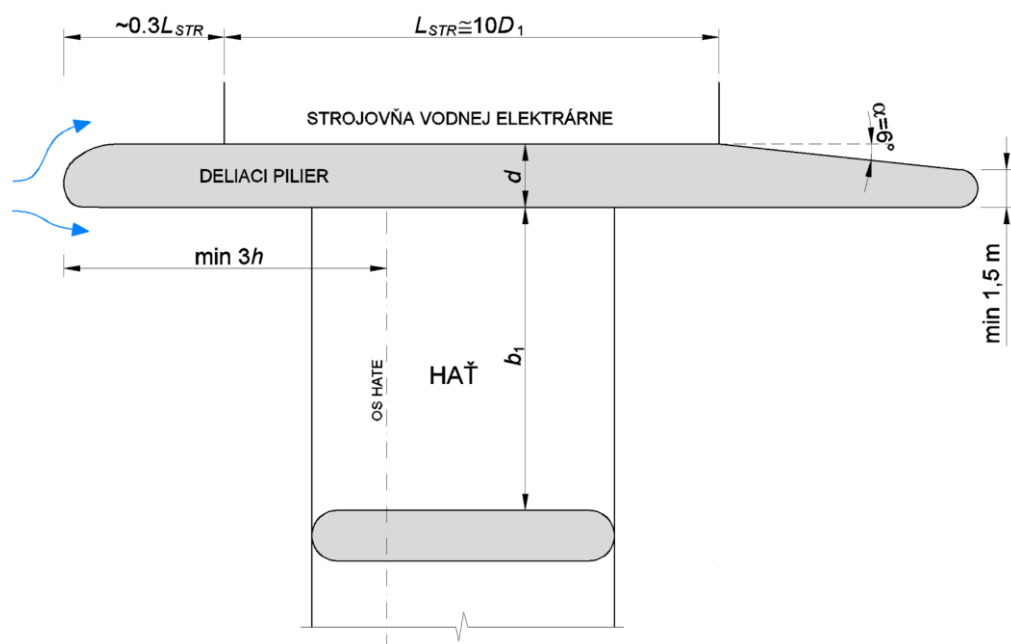
V prípade, že je priamo vedľa hate umiestnený napr. odberný objekt alebo vodná elektrárň oddelená od hate deliacim pilierom (Obr. 6.34), môže byť tento pilier obtekaný nesymetricky. V takomto prípade je vhodné navrhnuť nesymetrický prúdnicový tvar zhlavia. Deliaci pilier je vhodné vysunúť do hornej vody minimálne o trojnásobok prepadovej výšky h . Pre **predbežný návrh šírky nesymetrického deliaceho piliera d** , je možné pre danú svetlú šírku príslušného haťového poľa b_1 použiť odporúčania podľa [6]:

$$\begin{aligned} \text{stavidlový uzáver} & \quad d = 0.25 \sim 0.35 b_1 \\ \text{segmentový uzáver} & \quad d = 0.20 \sim 0.25 b_1 \\ \text{klapkový uzáver} & \quad d = 0.15 \sim 0.20 b_1 \end{aligned} \quad (6.16)$$

Predbežnú dĺžku deliaceho piliera je potom možné určiť v zmysle Obr. 6.34, kde dĺžku strojovne vodnej elektrárne L_{STR} je možné stanoviť ako približne 10-násobok priemeru obežného kola turbíny D_1 .

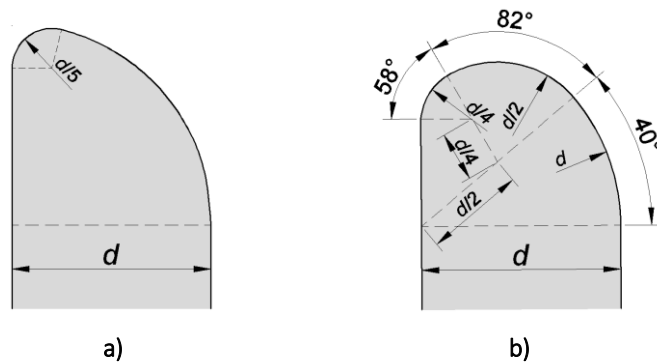


Obr. 6.33 Pilier prúdnicevého tvaru prispôsobený rôznym typom pohyblivých uzáverov



Obr. 6.34 Pôdorysný tvar nesymetrického deliaceho piliera medzi haťou a vodnou elektrárnou

Pôdorysný tvar predného zhlavia nesymetrického piliera je možné stanoviť viacerými spôsobmi. Ideálnemu prúdnicovému tvaru sa blíži napr. jednozávitová logaritmická špirála (Obr. 6.35a). Jednoduchší tvar je možné vytvoriť napr. z kružnicových oblúkov (Obr. 6.35b).

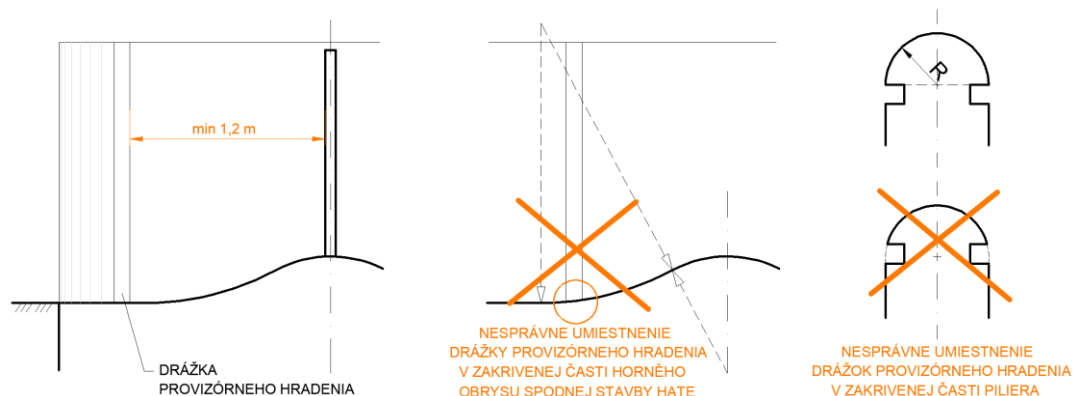


Obr. 6.35 Nesymetrický prúdnicový tvar predného zhlavia deliaceho piliera medzi haťou a vodnou elektrárnou, resp. odberným objektom

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

6.4.2 Návrh dĺžky deliacich pilierov

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. 6.30). Súčasne by provizórne hradenie malo byť umiestnené od samotného pohyblivého uzáveru (aj uzáveru, ktoré nepotrebuje vodiace drážky, t. j. klapka, segment...) minimálne 1.2 m, aby bolo možné vykonávať vo vytvorenom priestore revízie alebo opravy. Správne umiestnenie drážok provizórneho hradenia vo vzťahu k zakriveným častiam horného obrysu spodnej stavby, resp. piliera sú na Obr. 6.37. Dĺžka priamej časti medzi predným a zadným zhlavím piliera závisí aj od spôsobu pohybu uzáveru a od jeho bočného tesnenia.



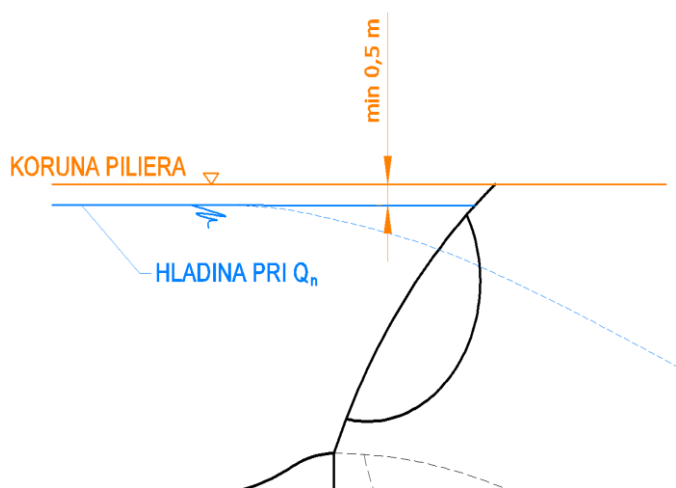
Obr. 6.36 Schéma pre stanovenie správneho umiestnenia drážok provizórneho hradenia

Dĺžka piliera závisí taktiež od hydraulického charakteru vodného toku. Pri štrkonosných tokoch sa ukončenie deliaceho piliera navrhuje až na koniec vývarového prahu pre elimináciu 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. Pre zjednodušenie výstavby piliera je výhodné odsadiť predné zhlavie smerom po prúde. Z podobných dôvodov je vhodné ukončiť zadné zhlavie piliera v jednej rovine s dilatačnou škárou medzi spodnou stavbou a vývarovou doskou.

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

6.4.3 Návrh výšky deliacich pilierov

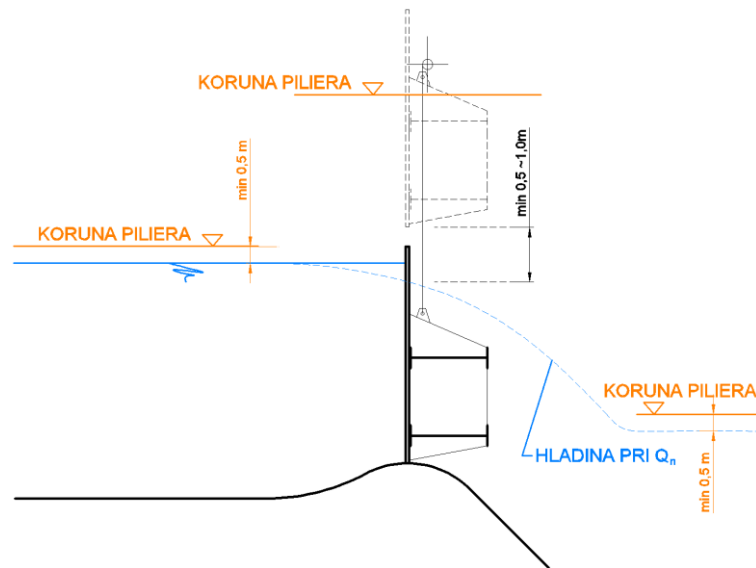
Výška deliacich pilierov je ovplyvnená typom hradiacej konštrukcie a spôsobom jej ovládania. V prípade sklopných uzáverov je možné navrhnuť relatívne nízke, do krajiny ľahko začleneniteľné piliere, ktoré môžu byť pri prechode veľkých vôd dokonca prelievané. Prevýšenie piliera nad hladinou stáleho vzduťia sa navrhuje 0.5 a 1.0 m (Obr. 6.37).



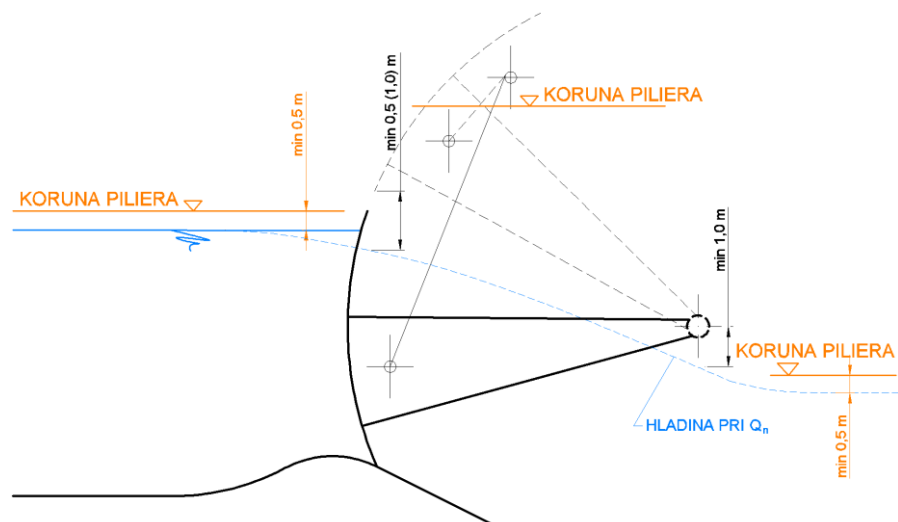
Obr. 6.37 Schéma pre stanovenie výšky deliaceho piliera pri použití klapkového uzáveru

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 návrhovom 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 je potrebné 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 prispôbiť ako typu uzáveru, tak aj úrovni hladiny pri návrhovom prietoku v dolnej vode (Obr. 6.38 a Obr. 6.39).

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



Obr. 6.38 Schéma pre stanovenie výšky piliera pri použití stavidlového uzáveru



Obr. 6.39 Schéma pre stanovenie výšky piliera pri použití segmentového uzáveru



Úloha č. 14

Je potrebné navrhnuť predbežnú šírku, dĺžku a výšku deliacich pilierov medzi haťovými poľami predmetnej hate.



Riešenie úlohy č. 14:

Výpočet predbežnej šírky deliaceho piliera medzi haťovými poľami je vhodné stanoviť v zmysle oboch vzťahov (6.14) a (6.15). Následne sa bude uvažovať s vyššou vypočítanou hodnotou. Tvar zhlavia piliera bol stanovený v rámci riešenia podúlohy č. 6.5 v Kap. 5.6.3.1. Prevýšenie piliera

sa navrhuje 0.5 m nad maximálnu prevádzkovú hladinu. Drážky provízorneho hradenia sa navrhujú vzhľadom na hladinové pomery aj zo strany dolnej vody.



Výpočet:

$$b_1 = 15 \text{ m (pozri Kap. 5.6.3)}$$

$$d = 0.16b_1 = 0.16 \cdot 15 = 2.4 \approx 2.5 \text{ m (podľa Berezinského pre klapku (6.14))}$$

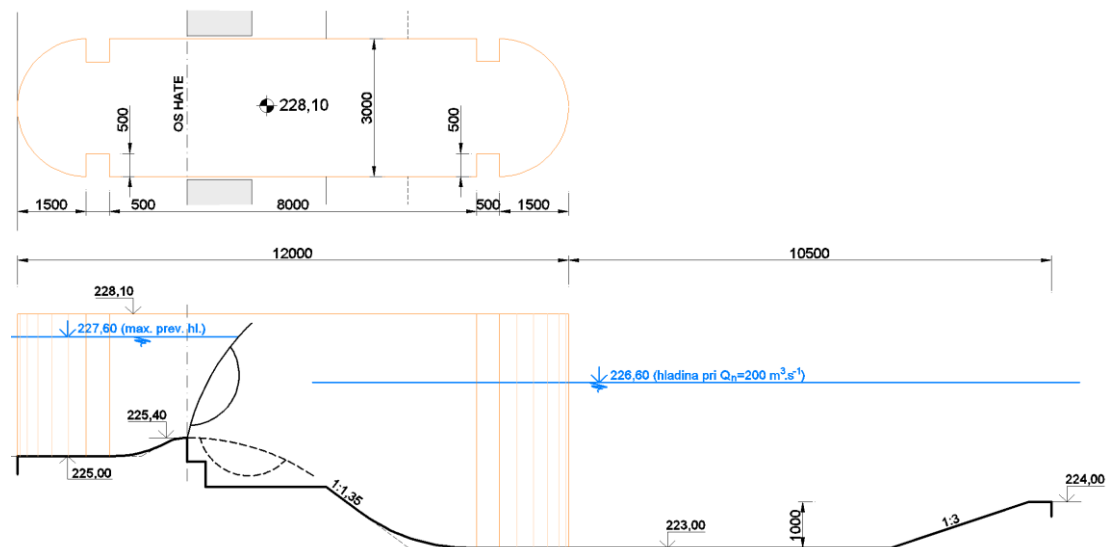
$$d = 0.8\sqrt{b_1} - 0.20 = 0.8\sqrt{15} - 0.20 = 2.89 \approx 3.0 \text{ m (podľa Balcerského pre klapku (6.15))}$$

Šírku deliaceho piliera medzi haťovými poľami je možné uvažovať hodnotou 3.0 m.

Dĺžku deliaceho piliera je možné uvažovať hodnotou 12.0 m.

Výšku deliaceho piliera je možné uvažovať na kóte 228.10 m n. m.

Poznámka: Je potrebné upozorniť, že navrhnuté rozmery deliaceho piliera (Obr. 6.43) sú predbežné (orientačné) a je nevyhnutné ich posúdiť z hľadiska statického.



Obr. 6.40 Návrh deliaceho piliera medzi haťovými poľami – pôdorys a priečny rez



Úloha č. 15

Je potrebné navrhnuť predbežnú šírku, dĺžku a výšku deliaceho pilier medzi haťou a MVE.



Riešenie úlohy č. 15:

Výpočet predbežnej šírky deliaceho piliera medzi haťou a MVE je možné stanoviť podľa vzťahu (6.14). Tvar zhlavia piliera je možné navrhnuť v zmysle Obr. 6.35b ako nesymetricky zložený z kružnicových oblúkov. Dĺžku deliaceho piliera je možné navrhnuť v zmysle odporúčaní podľa Obr. 6.34. Priemer obežného kola turbíny MVE bol stanovený hydroenergetickými výpočtami

na 1580 mm (hydroenergetické výpočty nie sú vzhľadom na obmedzený rozsah týchto skrípt ich súčasťou). Prevýšenie piliera sa navrhuje 0.5 m nad maximálnu prevádzkovú hladinu.



Výpočet:

$$b_1 = 15 \text{ m}$$

(pozri Kap. 5.6.3)

$$d = 0.18b_1 = 0.18 * 15 = 2.7 \approx 3.0 \text{ m} \quad (\text{podľa vzťahu (6.16) pre klapkový uzáver})$$

Šírku deliaceho piliera medzi haťou a MVE je možné uvažovať hodnotou $d = 3.0 \text{ m}$.

$$h = K_1 - K_2 - s = 227.6 - 225.0 - 0.4 = 2.2 \text{ m} \quad (\text{pozri Kap. 5.6.3}),$$

$$D_1 = 1580 \text{ mm}.$$

$$3h = 3 * 2.2 = 6.6 \approx 7.0 \text{ m}$$

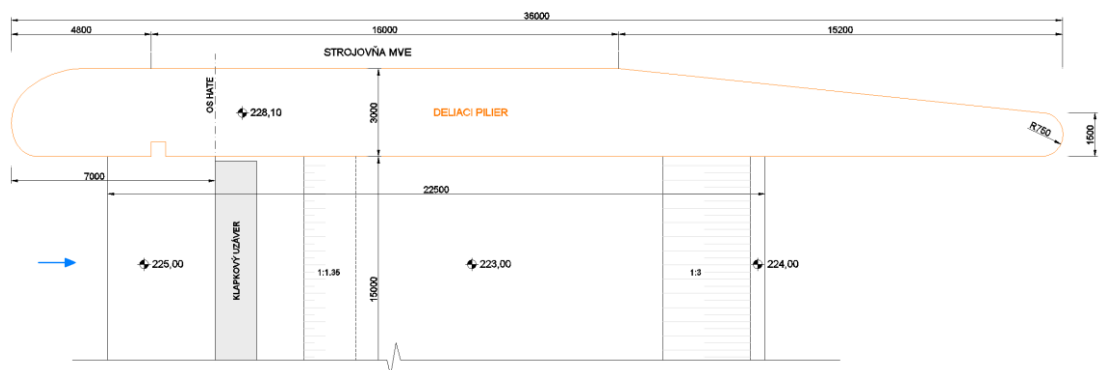
(pozri Obr. 6.34)

$$L_{STR} \cong 10D_1 = 10 * 1.58 = 15.8 \approx 16.0 \text{ m}$$

(pozri Obr. 6.34)

Dĺžku deliaceho piliera medzi haťou a MVE je možné uvažovať hodnotou $\approx 36 \text{ m}$.

Výšku deliaceho piliera je možné uvažovať na kóte 228.10 m n. m.



Obr. 6.41 Návrh deliaceho piliera medzi haťou a MVE – pôdorys



6.5 Brehové piliere a krídla

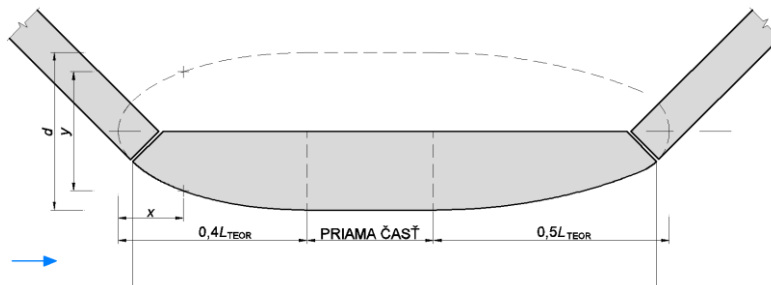
Účelom brehového piliera je:

- 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.

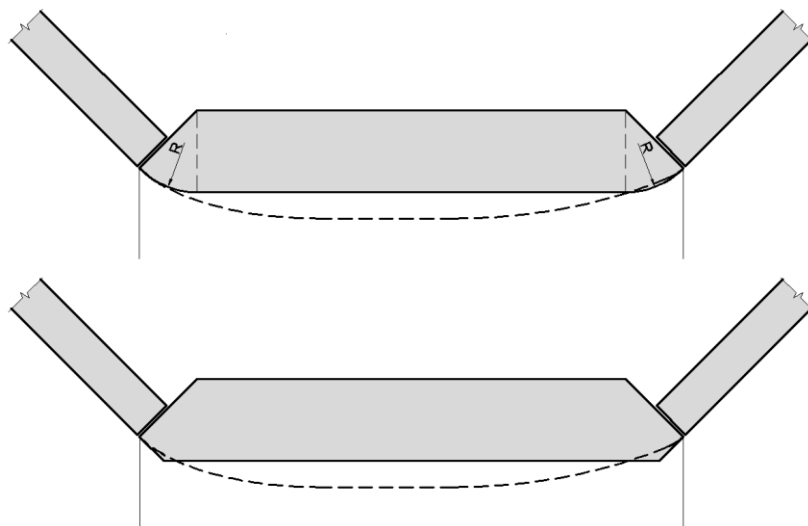
V prípade, že na hať priamo nenadväzuje iný objekt (napr. vodná elektráreň, plavebná komora, rybovod, odberný objekt a pod.), sú obe krajné haťové polia ukončené **brehovými piliermi** (Obr. 3.4).

6.5.1 Návrh brehových pilierov a krídiel

Tvar brehového piliera je potrebné navrhnuť 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 (6.13). Ideálny je prúdnicový tvar, pri ktorom je vplyv kontrakcie prakticky zanedbateľný (Obr. 6.42). Takéto hydraulicky výhodné riešenie je však z hľadiska vyhotovenia pomerne zložité, preto sa dáva prednosť jednoduchším tvarom (Obr. 6.43).



Obr. 6.42 Prúdnicový tvar brehového piliera



Obr. 6.43 Zjednodušené tvary brehových pilierov

Z konštrukčného hľadiska (umiestnenie drážok, výška piliera) platia pre *brehové piliere* podobné zásady ako pre *deliace piliere* (Kap. 6.4). 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.

Konštrukcia *brehových (vtokových a výtokových) krídiel* je podobná ako konštrukcia brehových pilierov. Navrhujú sa obyčajne ako masívne železobetónové oporné, uhlového prípadne komôrkového tvaru tak, aby bolo možné využiť priťažujúci účinok zeminy.



Úloha č. 16

Je potrebné navrhnuť tvar brehových pilierov a krídiel.



Riešenie úlohy č. 16:

Šírku brehového piliera je možné predbežne uvažovať hodnotou 2.0 m. Z hľadiska konštrukčného je ich možné, vzhľadom na relatívne malú výšku, navrhnuť ako jednoduchý uhlový oporný múr. Tvar zhlavia brehových krídiel bol stanovený v rámci riešenia podúlohy č. 6.5 v Kap. 5.6.3.2. Podobne ako brehové piliere je ich možné z konštrukčného hľadiska navrhnuť ako jednoduché uhlové oporné múry. Celkové pôdorysné usporiadanie hate je uvedené na Obr. 6.45.

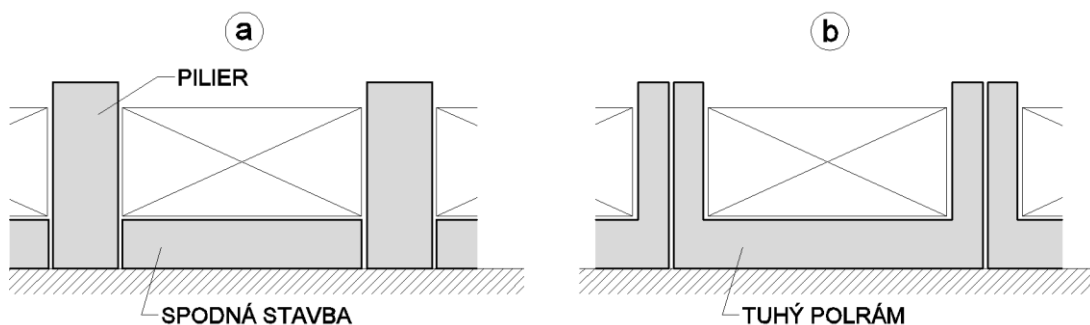


6.6 Členenie hate dilatácnymi škárami

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).

Hate menších rozmerov je možné (najmä na únosnom podloží) vytvoriť pomocou monolitické 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 dilatácne škáry zvyčajne oddeľujú haťové teleso od pilierov (Obr. 6.44a) alebo sú umiestnené v osi piliera (Obr. 6.44b). Šírka takto dilatovaných pilierov však musí byť väčšia (pozri Kap. 6.4.1). V pozdĺžnom smere dilatácne škáry zvyčajne oddeľujú vývar od samotnej spodnej stavby hate. Dilatačné škáry tak isto oddeľujú aj brehové krídla od brehových pilierov.



Obr. 6.44 Umiestnenie priečných dilatácnych 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. 6.44a). 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.

V prípade neúnosného stlačiteľného podložia je vhodné dilatačné škáry viesť stredom piliera/ov, čo umožňuje tuhé spojenie piliera/ov so spodnou stavbou (Obr. 6.44b). 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 zaisť bezproblémový pohyb uzáveru aj pri sadnutí konštrukcie.



Úloha č. 17

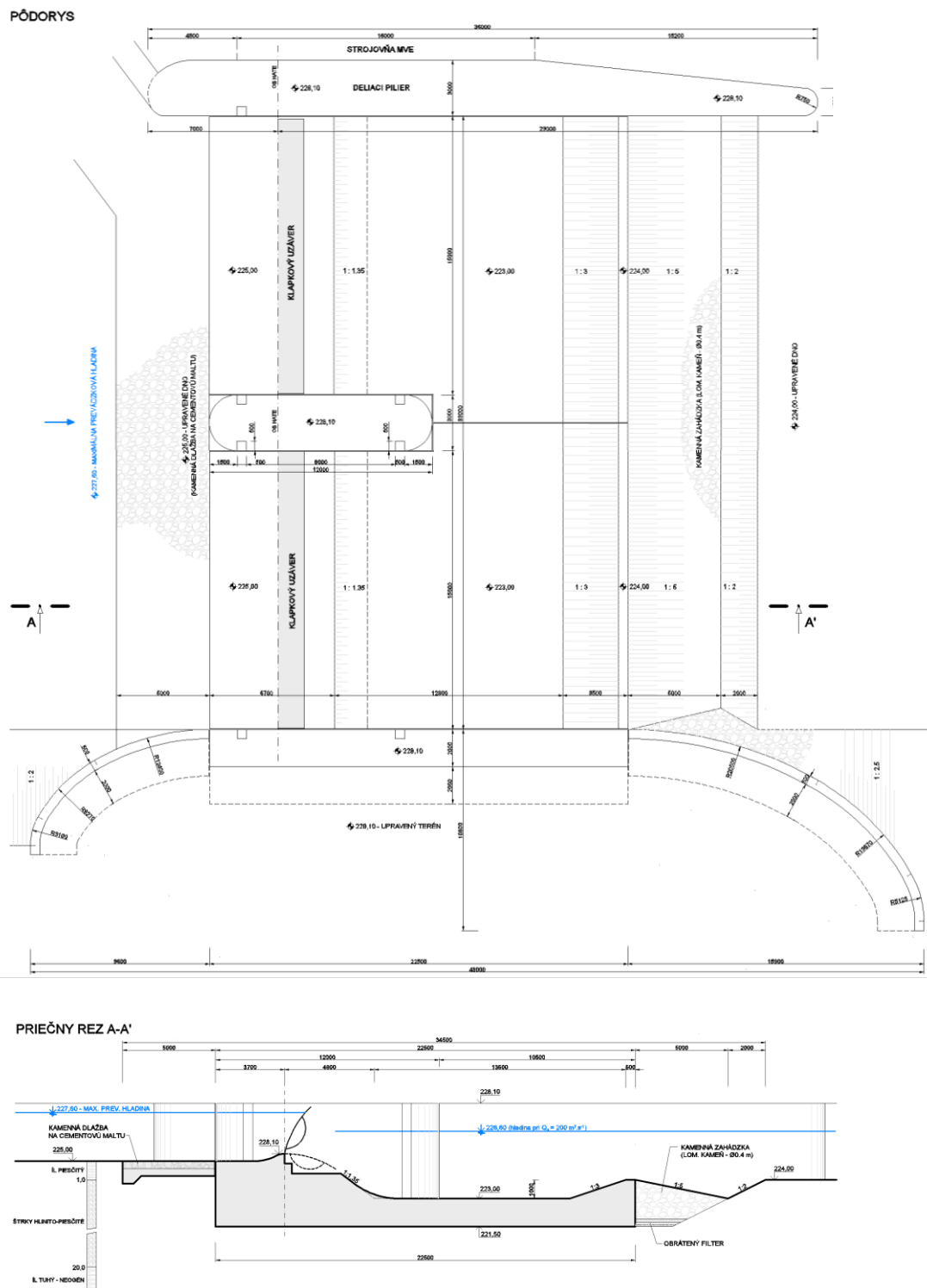
Je potrebné navrhnuť rozdelenie hate na dilatačné bloky.



Riešenie úlohy č. 17:

Vzhľadom na únosný charakter podložia (piesčité hrubozrnné štrky) sa v priečnom smere v zmysle Obr. 6.44a navrhuje oddeliť dilatačnými škárami haťové teleso od pilierov (pozri Obr. 6.45). V pozdĺžnom smere, sa vzhľadom na relatívne malú dĺžku hate cca 20 m, navrhuje neoddeliť spodnú stavbu hate od vývarovej dosky. Taktiež sa v zmysle Kap. 6.5.1 a Kap. 5.6.3.2 navrhuje oddeliť dilatačnou škárou brehovú krídla od brehového piliera.

***Poznámka:** Je potrebné upozorniť, že navrhnuté členenie hate na dilatačné bloky je orientačné a je nevyhnutné ho posúdiť z hľadiska statického. Taktiež je potrebné poznamenať, že navrhnuté riešenie „oddilatovania“ hate v zmysle Obr. 6.44a je zvolené pre zjednodušenie statického posúdenia hate za účelom možnosti ukážky prehľadnejšieho riešenia (pozri Kap. 8). S najväčšou pravdepodobnosťou by v skutočnosti aj napriek tomu, že podložie hate je únosné, bolo zvolené členenie na dilatačné bloky v zmysle Obr. 6.44b.*



Obr. 6.45 Návrh pôdorysného usporiadania a priečného rezu hate Hliník nad Hronom



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

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

7 Výpočet zaťaženia pôsobiaceho na hať

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. Sily, ktoré pôsobia na hať sa nazývajú **zaťaženie**.

Druhy prevádzky a reálne kombinácie síl, ktoré pôsobia na hať počas jej výstavby a prevádzky, sa nazývajú **zaťažovacie stavy** (Kap. 0), pričom **hať musí vykázať stabilitu pre všetky zaťažovacie stavy**.

Zaťaženie pôsobiace na hať 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.
 - sily a momenty vyvolané tlakom vody pri hladinách a prietokoch za bežnej prevádzky hate v súlade s jej manipulačným poriadkom až do najväčšieho návrhového prietoku (prietok návrhovej povodňovej vlny),
- **premenné** resp. *náhodné* (staršie označenie v zmysle STN 75 025)
 - **dlhodobé**
 - tlak nánosov,
 - vztlak vody,
 - 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 tlakom vody nad hornou hranicou hladín a prietokov za bežnej prevádzky (napr. pri kontrolnej povodňovej vlně),
 - zemetrasenie,
 - deformácia podložia,
 - náraz plavidla.



7.1.1 Vlastná tiaž konštrukcie

Vlastná tiaž konštrukcie hate má charakter *stáleho* a *staticky* pôsobiaceho zaťaženia. Vlastná charakteristická (normová) tiaž jednotlivých častí hate (Obr. 7.1) sa vypočíta prenášobením objemu príslušnej časti s jej objemovou tiažou.



$$G = \gamma V \quad [\text{kN}] \quad (7.1)$$

kde:

γ – objemová tiaž materiálu konštrukcie, ktorá je pre:

- prostý betón = 23 kN/m³,
- železobetón = 25 kN/m³,
- oceľ = 80 kN/m³.

V – objem konštrukcie [m³].

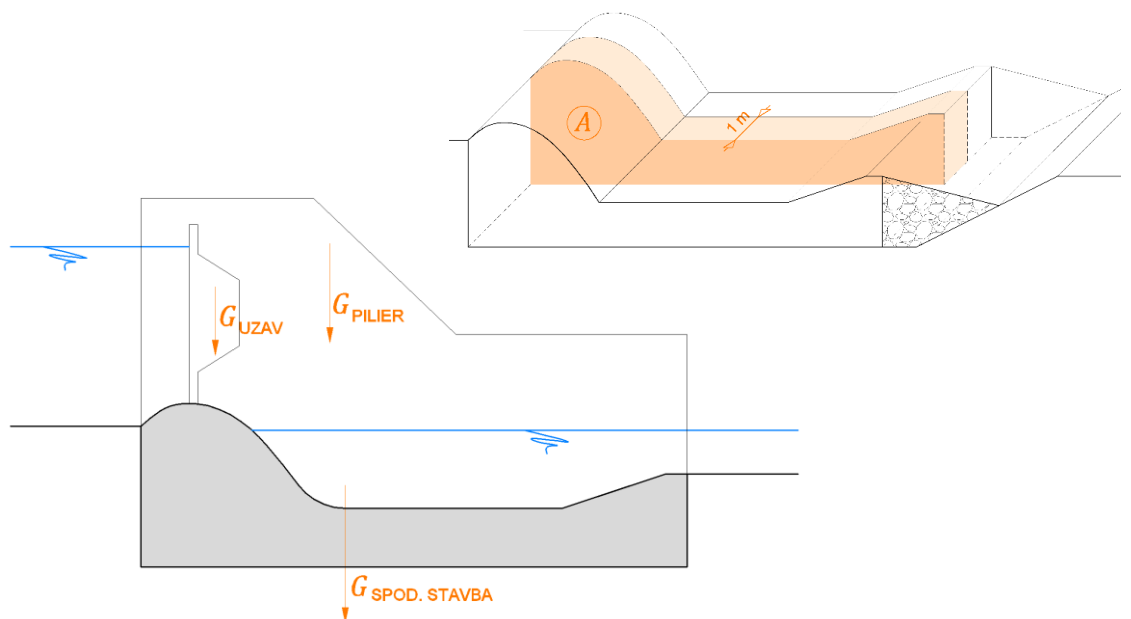
V prípade, že sú sily pôsobiace na hať stanovované pre 1 m šírku konštrukcie (tzv. bežný meter (**b**m)), tiaž jednotlivých častí hate sa vypočíta prenášobením objemovej tiaže s plochou konštrukcie v priečnom reze telesa.



$$G = \gamma A \quad [\text{kN/m}] \quad (7.2)$$

kde:

A – plocha konštrukcie v priečnom reze haťou [m²] – pozri Obr. 7.1.



Obr. 7.1 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.



Úloha č. 18

Je potrebné stanoviť charakteristickú (normovú) hodnotu sily pôsobiacej na konštrukciu navrhovanej hate od vlastnej tiaže.



Riešenie úlohy č. 18:

Celkovú silu od vlastnej tiaže navrhovanej konštrukcie G je možné v zmysle Obr. 7.2 stanoviť ako súčet sily od tiaže spodnej stavby hate G_S a sily od tiaže klappového uzáveru G_U . Na výpočet veľkosti sily je možné použiť vzťah (7.1), pričom príslušnú plochu A je možné stanoviť napr. v programe AutoCAD, resp. v inom grafickom vektorovom editore, v ktorom užívateľ vypracováva projektovú dokumentáciu. V prípade programu AutoCAD je možné pomocou príkazu **_MASSPROP** získať potrebné informácie o ploche vybraného objektu (*Area*) alebo o ťažisku (*Centroid*) – pozri Obr. 7.2. Vybraný objekt však musí mať atribút **Region** alebo **Solid**. Presné určenie ťažiska konštrukcie je dôležité pri stanovení vzdialenosti pôsobiska, resp. dĺžky ramena sily r od ľubovoľne zvoleného vzťažného bodu **A**. Samotná konštrukcia klapy je tvorená hradiacou a výstužnou stenou. Veľkosť sily od vlastnej tiaže klapy je potom možné stanoviť z tiaže m^2 hradiacej, resp. výstužnej steny. Celková sila od vlastnej tiaže je potom stanovená ako výslednica síl G_S a G_U .



Výpočet:

Sila od vlastnej tiaže spodnej stavby hate – G_S

$$\gamma_{zb} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$A = 49.03 \text{ m}^2 \quad (\text{pozri Obr. 7.2})$$

$$G_S = \gamma_{zb} A = 25 * 49.03 = 1\,225.8 \text{ kN/m} \rightarrow r_S = 9.56 \text{ m}$$

Sila od vlastnej tiaže klappového uzáveru – G_U

$$\gamma_o = 8 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{tiaž } m^2 \text{ hradiacej, resp. výstužnej steny klapy})$$

$$o_1 = 2.9 \text{ m} \quad (\text{pozri Obr. 7.2})$$

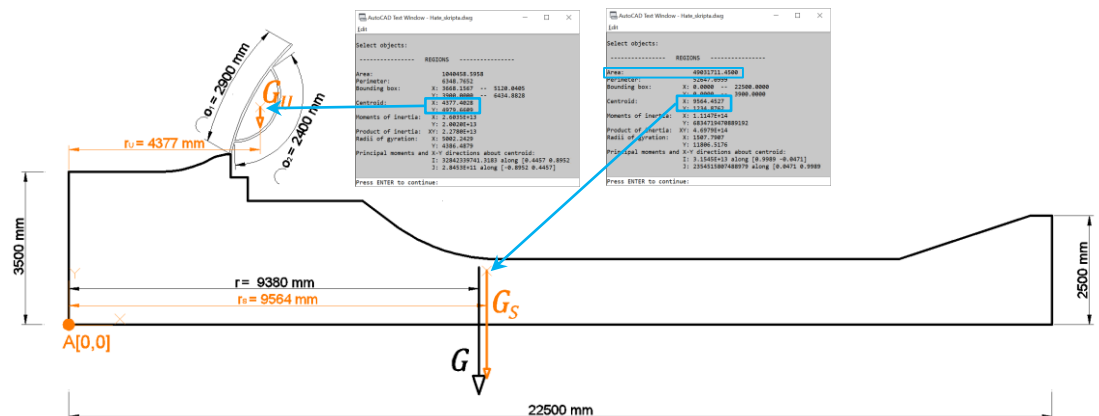
$$o_2 = 2.4 \text{ m} \quad (\text{pozri Obr. 7.2})$$

$$G_U = \gamma_o (o_1 + o_2) = 8 * (2.9 + 2.4) = 42.4 \text{ kN/m} \rightarrow r_U = 4.38 \text{ m}$$

Celková sila od vlastnej tiaže navrhovanej konštrukcie - G

$$G = G_S + G_U = 1\,225.8 + 42.4 = 1\,268 \text{ kN/m}$$

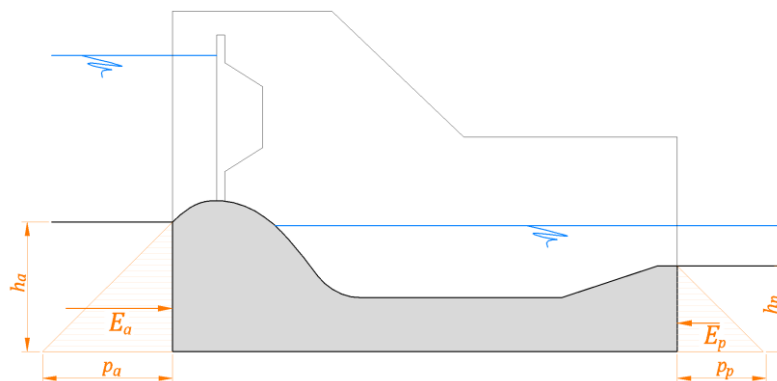
$$r = \frac{G_S r_S + G_U r_U}{G_S + G_U} = \frac{1\,225.8 \cdot 9.56 + 42.4 \cdot 4.38}{1\,225.8 + 42.4} = \frac{11\,904.36}{1\,268.2} = 9.38 \text{ m}$$



Obr. 7.2 Sily od vlastnej tiaže spodnej stavby a klapkového uzáveru

7.1.2 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. 7.3). V prípade, že konštrukcia pred tlakom zeminu „ustupuje“, ide o **aktívny zemný tlak**. V prípade, že je konštrukcia zatláčaná smerom proti pôsobeniu zemného tlaku – ide o **pasívny zemný tlak**.



Obr. 7.3 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od aktívneho a pasívneho tlaku zemin

7.1.2.1 Aktívny zemný tlak

Poradnicu aktívneho zemného tlaku p_a , resp. výslednicu aktívneho zemného tlaku E_a pôsobiaceho na meter bežný konštrukcie je pre jednozrnné zemin možné vypočítať v zmysle Obr. 7.3 na základe vzťahov pre:



- *nesúdržné zeminy:*

$$p_a = \gamma_{zv} h_a k_a \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_a = \frac{1}{2} \gamma_{zv} h_a^2 k_a \text{ [kN/m]} \quad (7.3)$$



- *súdržné zeminy:*

$$p_a = \gamma_{zv} (h_a - h_c) k_a \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_a = \frac{1}{2} \gamma_{zv} (h_a - h_c) k_a \text{ [kN/m]} \quad (7.4)$$

kde:

γ_{zv} – objemová tiaž zeminy nadľahčovanej vztlakom vody [kN/m³], ktorú je možné stanoviť na základe vzťahu (7.5), pričom hodnota γ_{zv} sa najčastejšie pohybuje v rozmedzí 11 až 13 kN/m³:

$$\gamma_{zv} = \gamma_z - \gamma_v (1 - \mu) \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (7.5)$$

kde:

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

- nesúdržné piesčité a štrkopieskové zeminy = 17 až 20 kN/m³,
- súdržné zeminy = 20 až 22 kN/m³.

γ_v – objemová tiaž vody = 10 kN/m³,

μ – pórovitosť zeminy [-],

- jemné piesky = cca 0.45,
- hrubozrnné štrky = cca 0.25.

Súčiniteľ aktívneho tlaku k_a je možné vypočítať podľa vzťahu:



$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ [-]} \quad (7.6)$$

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:

$$h_c = \frac{2 \cdot c_y}{\gamma_z} \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \text{ [m]} \quad (7.7)$$

kde:

C_u – totálna súdržnosť zeminy, ktorá sa pre:

- súdržné hlinito-piesčité = 25 až 60 kPa,
- súdržné ílovité = 25 až 50 kPa.
- nesúdržné = 0 kPa.

7.1.2.2 Pasívny zemný tlak

Poradnicu pasívneho zemného tlaku p_p , resp. výslednicu pasívneho zemného tlaku E_p pôsobiaceho na meter bežný konštrukcie je možné pre jemnozrnné zeminy vypočítať v zmysle Obr. 7.3 na základe vzťahov pre:

- *nesúdržné zeminy*:



$$p_p = \gamma_{zV} h_p k_p \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_p = \frac{1}{2} \gamma_{zV} h_p^2 k_p \text{ [kN/m]} \quad (7.8)$$

- *súdržné zeminy*:



$$p_p = \gamma_{zV} (h_p + h_c) k_p \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad E_a = \frac{1}{2} \gamma_{zV} (h_p + h_c) k_p \text{ [kN/m]} \quad (7.9)$$

kde:

h_p – je hrúbka vrstvy zeminy [m],

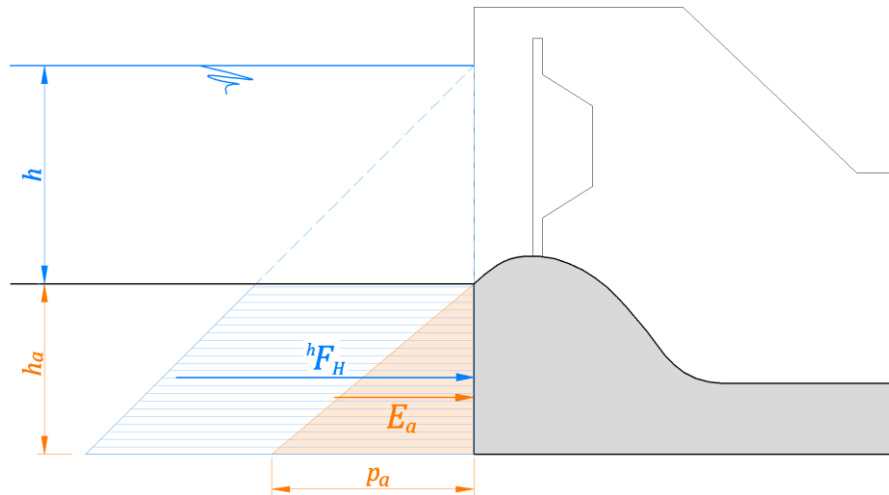
k_p – súčiniteľ pasívneho tlaku, ktorý je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$k_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \text{ [-]} \quad (7.10)$$

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

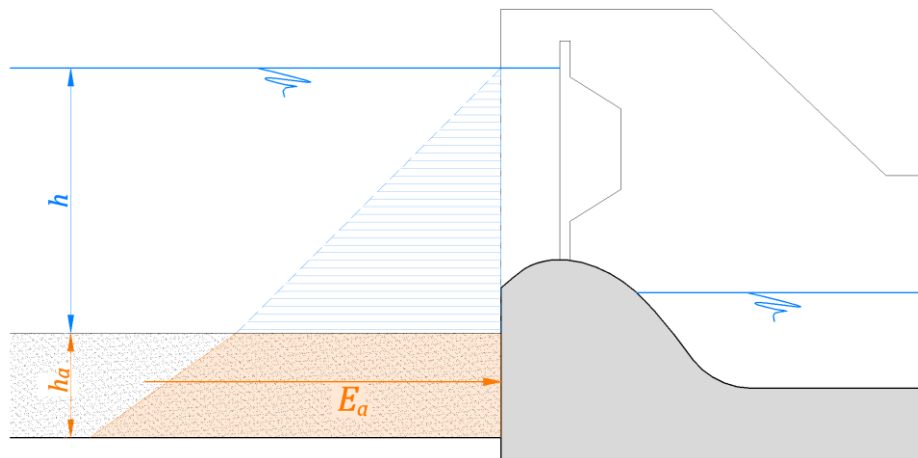
$$h_c = \frac{2 \cdot C_u}{\gamma_z} \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ [m]} \quad (7.11)$$

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} (7.5)). Do celkového zaťaženia je však potom nutné samostatne zaviesť aj príslušné zaťaženie vodným tlakom (Obr. 7.4).



Obr. 7.4 Sily pôsobiace na spodnú stavbu hate od aktívneho tlaku hrubozrnných zemín

V prípade jemnozrnných nánosov, napr. bahna, koloidných častíc je možné postupovať tak, akoby na posudzovanú konštrukciu pôsobil tlak náhradnej kvapaliny s objemovou tiažou 13 až 14 kN/m³ (Obr. 7.5).



Obr. 7.5 Sila pôsobiace na spodnú stavbu hate od aktívneho tlaku bahenných nánosov



Úloha č. 19

Je potrebné stanoviť charakteristickú (normovú) hodnotu sily pôsobiacej na konštrukciu navrhovanej hate od zemného tlaku.



Riešenie úlohy č. 19:

Podložie hate tvoria piesčité hrubozrnné štrky. Hodnoty aktívneho tlaku je preto možné vypočítať podľa vzťahu pre nesúdržné zeminy (7.2). Vzhľadom na to, že v zmysle Kap. 6.2 je za vývarovým prahom navrhnutý zához z lomového kameňa a s ohľadom na bezpečnosť haťovej konštrukcie – sa s pasívnym zemným tlakom vo výpočtoch neuvažuje.



Výpočet:

Sila aktívneho zemného tlaku - E_a

$\gamma_z = 20 \text{ kN/m}^3$ (objemová tiaž hrubozrnných štrkov)

$\gamma_v = 10 \text{ kN/m}^3$ (objemová tiaž vody)

$\mu = 0.25$ (približná pórovitosť hrubozrnných štrkov)

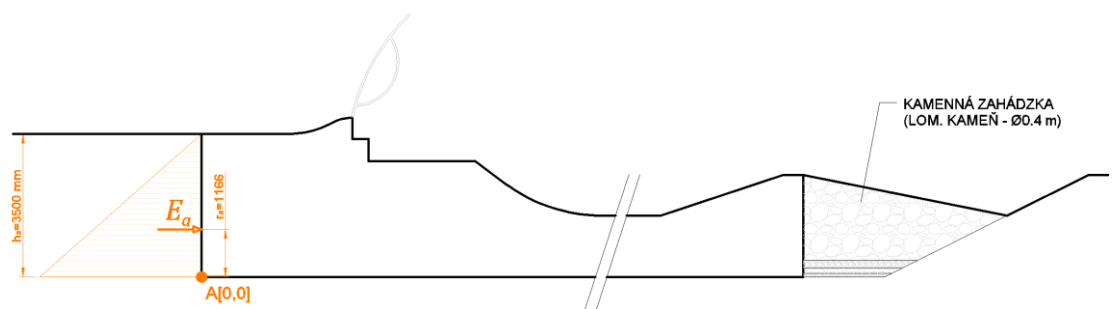
$h_a = 3.5 \text{ m}$ (pozri Obr. 7.6)

$\varphi = 40^\circ$ (uhol vnútorného trenia štrkovitých a hrubozrnných zemín)

$$\gamma_{zv} = \gamma_z - \gamma_v(1 - \mu) = 20 - 10(1 - 0.25) = 12.5 \text{ kN/m} \quad (\text{podľa vzťahu (7.5)})$$

$$k_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{40^\circ}{2}\right) = 0.217 \quad (\text{podľa vzťahu (7.6)})$$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma_{zv} h_a^2 k_a = \frac{1}{2} * 12.5 * 3.5^2 * 0.217 = 16.6 \text{ kN/m} \rightarrow r_a = 1.17 \text{ m}$$



Obr. 7.6 Sila pôsobiace na konštrukciu hate od aktívneho a pasívneho zemného tlaku

7.1.3 Tlak vody

Tlak vody pôsobí kolmo na vonkajšie plochy konštrukcie, pričom **hydrostatický tlak** vyvolávaný neprúdiacou vodou pôsobí aj v dilatačných škárach a medzi jednotlivými konštrukčnými blokmi hate (Kap. 6.6).

Hydrostatický tlak narastá lineárne s hĺbkou vody. Poradnicu charakteristickej hodnoty hydrostatického tlaku p_H v hĺbke h , resp. výslednicu horizontálnej zložky hydrostatickej sily F_H (od hornej a dolnej vody) pôsobiaceho na meter bežný konštrukcie je možné vypočítať v zmysle Obr. 7.7 na základe vzťahov:

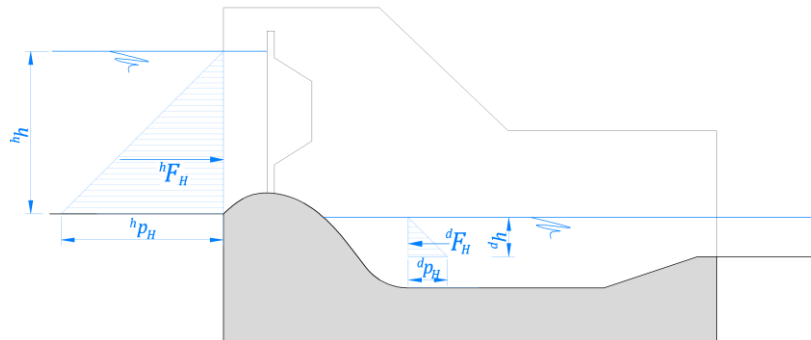


$$p_H = \gamma_v h \text{ [kN/m}^2\text{]}, \quad F_H = \frac{1}{2} \gamma_v h^2 \text{ [kN/m]} \quad (7.12)$$

kde:

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

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



Obr. 7.7 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od horizontálnej zložky hydrostatického tlaku

Vertikálna zložka hydrostatickej sily F_V (od hornej a dolnej vody) sa v zmysle Obr. 7.8 vypočíta pre násobením plochy zaťažovacieho obrazca jej objemovou tiažou:

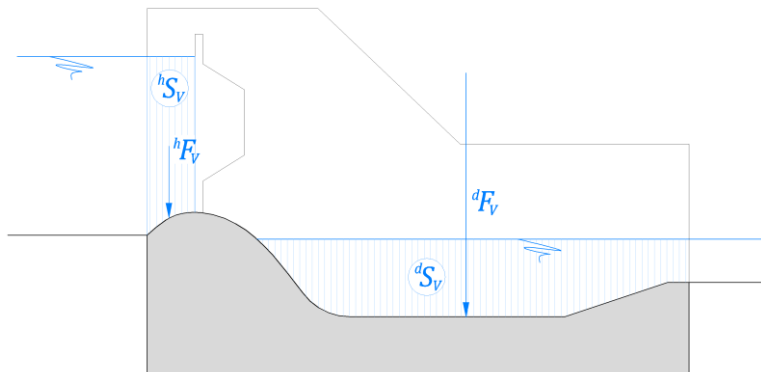


$$F_V = \gamma_V S_V \quad [\text{kN/m}] \quad (7.13)$$

kde:

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

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



Obr. 7.8 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od vertikálnej zložky hydrostatického tlaku

Hydrodynamický tlak, ktorým pôsobí na konštrukcie hate prúdiaca voda, má všetky charakteristiky *dynamického zaťaženia*. Jeho pôsobenie je síce *náhodné* ale často *periodické*. Hydrodynamický tlak môže spôsobiť *kmitanie* (pulzácia tlakov) alebo *otrasy konštrukcie*. Prípadne je konštrukcia vystavená *rázovému* namáhaniu. Výpočet charakteristických hodnôt hydrodynamického tlaku sa vypočíta v zmysle STN 75 0250: 1990 (CZ) *Zaťaženie konštrukcií vodohospodárskych objektov* a v zmysle ďalších súvisiacich noriem. Vzhľadom na obmedzený rozsah týchto skrípt nie je spôsob výpočtov charakteristických hodnôt hydrodynamického tlaku ďalej uvedený.



Úloha č. 20

Je potrebné stanoviť charakteristické (normové) hodnoty síl pôsobiacich na konštrukciu navrhovanej hate od hydrostatického tlaku vody.



Riešenie úlohy č. 20:

Stanovenie horizontálnej a vertikálnej zložky sily od hydrostatického tlaku sa mení s ohľadom na to, aký zaťažovací stav bude posudzovaný. V prípade normálneho prevádzkového stavu sa uvažuje s maximálnou prevádzkovou hladinou nad haťou a minimálnou hladinou pod haťou. V prípade stavu pri revíziách a opravách sa uvažuje s osadením provizórneho hradenia (vertikálna zložka hydrostatickej sily od hornej vody je prakticky nulová) a vyčerpaný vývar (vertikálna zložka hydrostatickej sily od dolnej vody je nulová). V prípade stavu pri prepúšťaní maximálneho prietoku sa uvažuje s maximálnou hladinou nad aj pod haťou. Vzhľadom na to, že podlažie navrhovanej hate tvoria hrubozrnné štrky, sa pri výpočte horizontálnej zložky hydrostatickej sily postupujeme podľa vzťahu (7.12) v zmysle Obr. 7.4. V prípade výpočtu vertikálnej zložky postupujeme v zmysle vzťahu (7.13). Plochu a ťažisko zaťažovacieho obrazca vertikálneho hydrostatického tlaku od hornej, resp. dolnej vody je možné s výhodou stanoviť v programe AutoCAD pomocou príkazu **_MASSPROP** – pozri Obr. 7.12.



Výpočet:

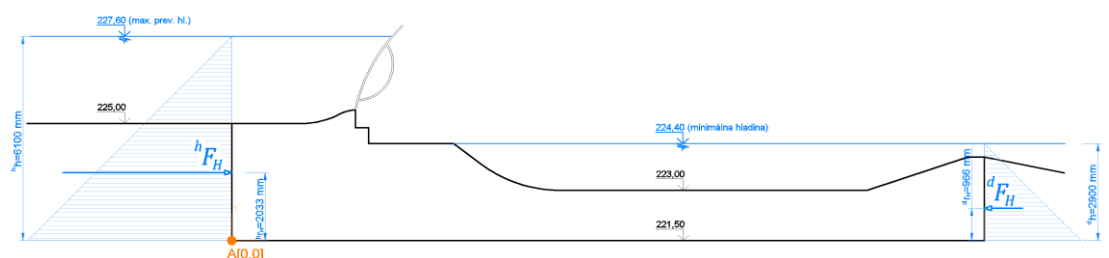
Horizontálna zložka hydrostatickej sily od hornej vody – hF_H

$\gamma_V = 10 \text{ kN/m}^3$ (objemová tiaž vody).

$${}^hF_H = \frac{1}{2} \gamma_V {}^h h^2 = \frac{1}{2} * 10 * 6.1^2 = 186 \text{ kN/m} \rightarrow {}^h r_H = 2.03 \text{ m}$$

Horizontálna zložka hydrostatickej sily od dolnej vody – dF_H

$${}^dF_H = \frac{1}{2} \gamma_V {}^d h^2 = \frac{1}{2} * 10 * 2.9^2 = 42 \text{ kN/m} \rightarrow {}^d r_H = 0.97 \text{ m}$$



Obr. 7.9 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od horizontálnej zložky hydrostatického tlaku

Vertikálna zložka hydrostatickej sily od hornej vody – hF_V

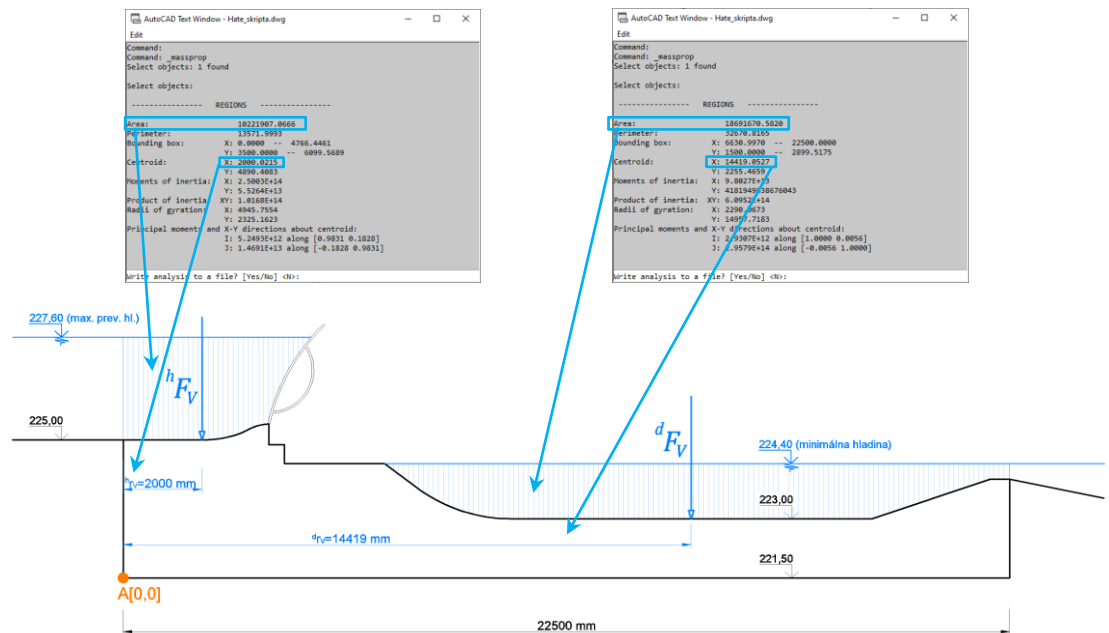
${}^h S_V = 10.22 \text{ m}^2$ (pozri Obr. 7.12).

$${}^h F_V = \gamma_V {}^h S_V = 10 * 10.22 = 102 \text{ kN/m} \rightarrow {}^h r_V = 2.0 \text{ m}$$

Vertikálna zložka hydrostatickej sily od dolnej vody – dF_V

$dS_V = 18.69 \text{ m}^2$ (pozri Obr. 7.12).

$$dF_V = \gamma_V dS_V = 10 * 18.69 = 187 \text{ kN/m} \rightarrow d r_V = 14.42 \text{ m}$$



Obr. 7.10 Sily pôsobiace na konštrukciu hate od vertikálnej zložky hydrostatického tlaku

7.1.4 Tlak presakujúcej vody (vztlak)

Tlaková voda z hornej zdrže presakujúca podložíím 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.

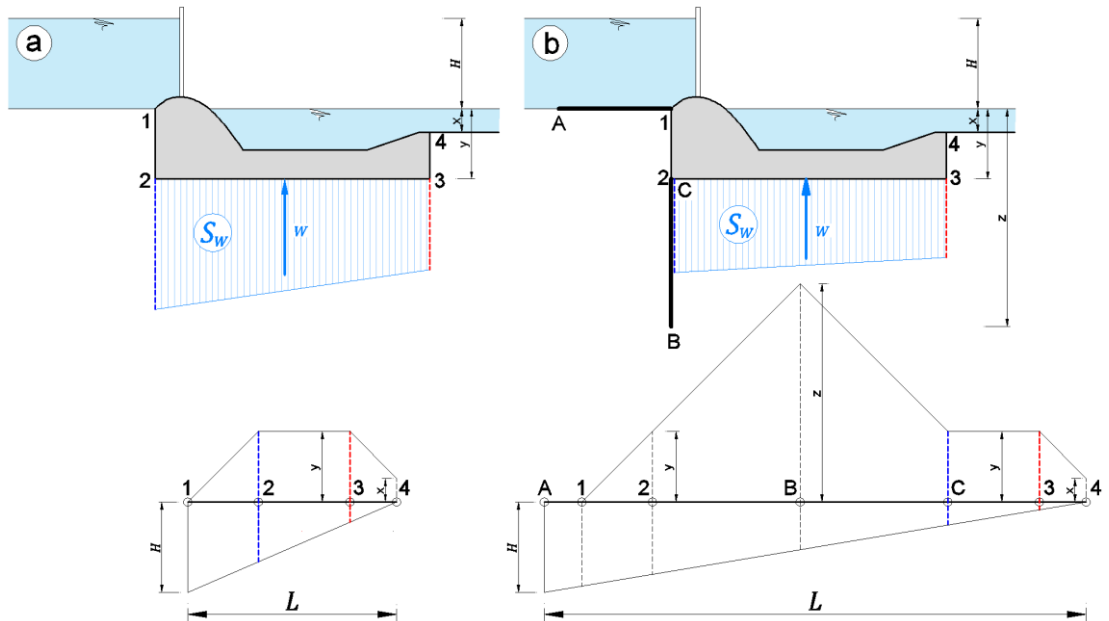
Veľkosť vztlaku závisí od:

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

Pre predbežné stanovenie veľkosti vztlaku, resp. vztlakovej sily W je možné použiť metódu podľa Laneho vychádzajúcu zo zjednodušujúceho predpokladu lineárneho úbytku vztlaku pozdĺž rozvinutého spodného obrysu dolnej stavby hate (Obr. 7.11).

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

Zvislý tesniaci prvok na návodnom okraji hate výsledný vztľak na základovú škáru hate znižuje.



Obr. 7.11 Vplyv dĺžky rozvinutého spodného obrysu hate na veľkosť vztľaku (vztľakovej sily)

Pri **neskálnom podloží hate** (napr. nesúdržné zeminy ako piesok a štrk) sa vzhľadom na bodový kontakt medzi zrnami predpokladá, že pôsobeniu vztľaku je vystavená celá plocha základovej škáry. Postupuje sa tak, že sa najprv (v zmysle Kap. 6.1.2.1 – (6.4)) 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. 6.1.2.1), tesniaci koberec (Kap. 6.1.2.2)). 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 vztľaku (v metroch vodného stĺpce). Zaťažovací obrazec vztľaku je možné zostrojiť vynesением poradníc vztľakov v bodoch 2 a 3 (Obr. 7.11a), resp. v bodoch C a 3 (Obr. 7.11b). Výslednú vztľakovú silu pôsobiacu v základovej škáre na dolný obrys hate je možné následne vypočítať podľa vzťahu:



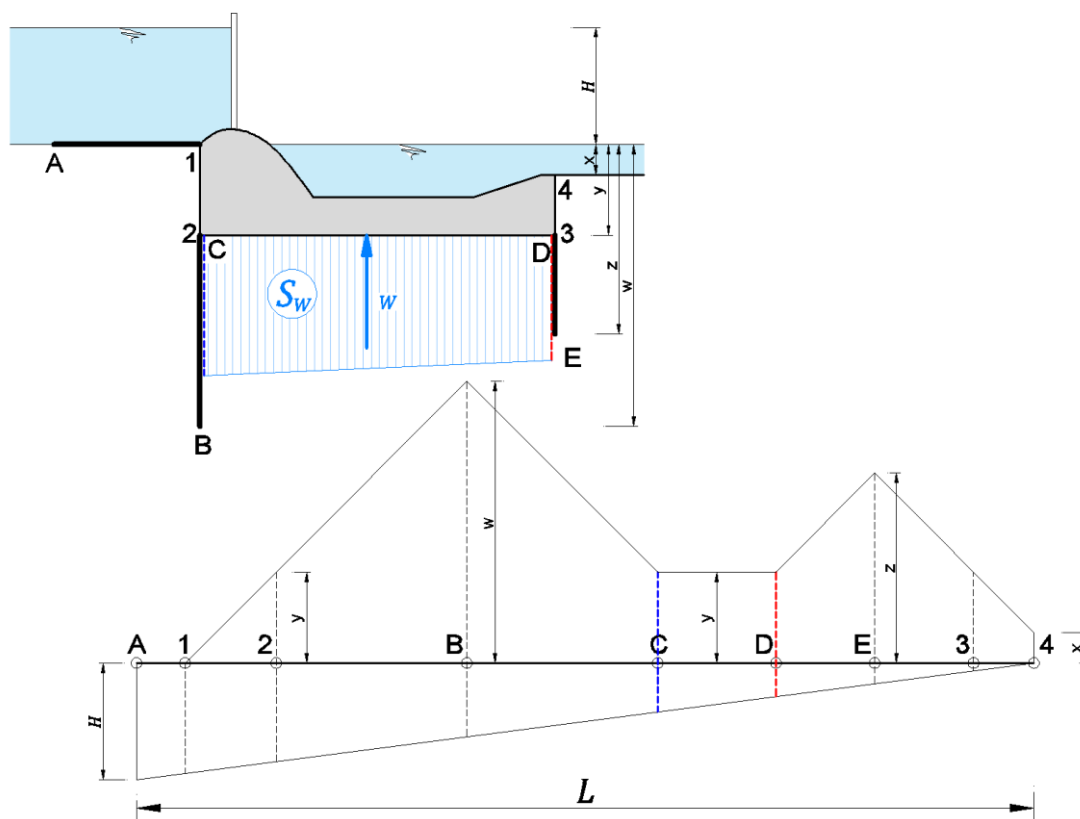
$$W = \gamma_v S_W \quad [\text{kN/m}] \quad (7.14)$$

kde:

- γ_v – je objemová tiaž vody = 10 kN/m^3 ,
- S_W – plocha zaťažovacieho obrazca vztľaku $[\text{m}^2]$.

V prípade, že vztľak pôsobí na šikmú plochu, rozkladá sa riešenie na samostatné stanovenie horizontálnej a vertikálnej zložky vztľaku, pričom výsledná vztľaková sila pôsobí vždy (tak ako hydrostatická tlaková sila) kolmo na základovú škáru. Z Obr. 7.11 je zrejmé, že v prípade, ak je spodný obrys hate predĺžený zvislým tesniacim prvkom na návodnom okraji hate (Obr. 7.11b), výsledný vztľak sa zmenší o straty vznikajúce prúdením okolo podzemnej steny.

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.



Obr. 7.12 Stanovenie vztlaku na dolný obrys hate v neskalnom podloží

Z riešenia na Obr. 7.12 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. 7.11b), zvýši. To má za následok zníženie bezpečnosti stavby, napr. proti posunutiu (Kap. 8.1.2). Na strane druhej, má predĺženie spodného obrysu hate vplyv na zníženie filtračných rýchlostí, čo prispieva k zvýšeniu bezpečnosti stavby vo vzťahu k prelomeniu podložia.

Riešenie vztlaku v prípade založenia hate **na skalnom podloží** je riešené napr. v [37].



Úloha č. 21

Je potrebné stanoviť charakteristické (normové) hodnoty síl pôsobiacich na konštrukciu navrhovanej hate od tlaku presakujúcej vody.



Riešenie úlohy č. 21:

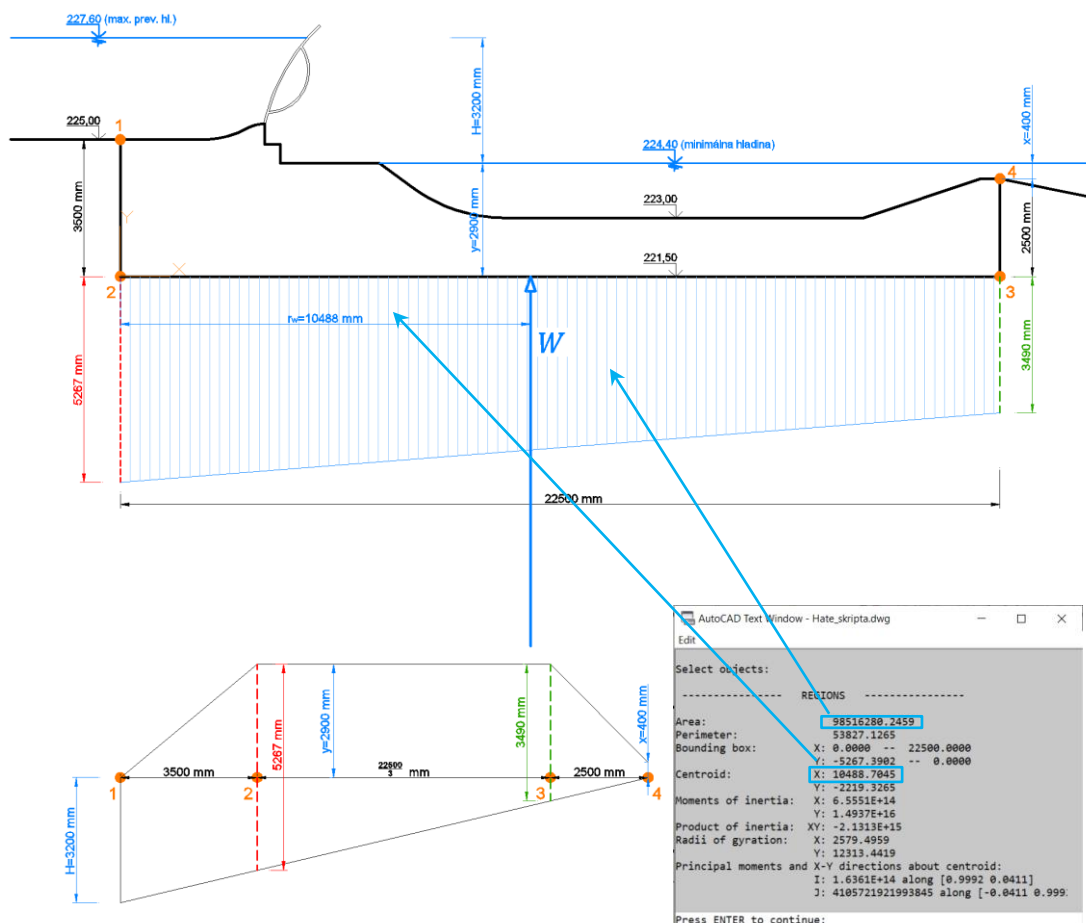
Stanovenie výsledného vztlaku je možné pomocou vzťahu (7.14). Z vyššie uvedeného je zrejmé, že najvyššia hodnota vztlaku sa vyvinie v prípade prepúšťania maximálneho prietoku, keď hladina nad aj pod haťou je na maximálnej úrovni. Grafické riešenie stanovenie hodnoty vztlaku pomocou Laneho pre normálny prevádzkový stav (maximálna prevádzka hladina nad haťou a minimálna hladina pod haťou) je zobrazený na Obr. 7.13.



Výpočet:

$S_W = 98.52 \text{ m}^2$ (pozri Obr. 7.12).

$W = \gamma_V S_W = 10 * 98.52 = 985 \text{ kN/m} \rightarrow r_W = 10.48 \text{ m}$



Obr. 7.13 Stanovenie vztaku na dolný obrys spodnej stavby hate

Spôsob stanovenia ďalších možných síl pôsobiacich na hať, napr. sily od hydrodynamického tlaku, od tlaku ľadu alebo od pôsobenia vln, sú popísane napr. v [37].



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

8 Statické posúdenie konštrukcie hate

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, ako napr.:

STN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhovania konštrukcií,

STN EN 1991 Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií,

STN EN 1992 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií,

STN EN 1997 Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických 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). Na rozdiel od staršieho (tradičného) spôsobu statického posudzovania na tzv. **stupne bezpečnosti**, ktoré vyjadrujú, o koľko má byť konštrukcia „silnejšia“ ako je potrebné na pokrytie očakávaných zaťažení, sa pri posudzovaní podľa medzných stavov stabilita posudzuje cez nerovnosť síl. Potrebná rezerva sa zabezpečuje prostredníctvom **parciálnych súčiniteľov** jednotlivých pôsobiacich síl. Ide o modernejší a komplexnejší prístup, používaný najmä v Eurokódoch a normách podľa koncepcie pravdepodobnostného navrhovania. Tento prístup je detailnejší a lepšie zohľadňuje rôzne druhy zaťaženia a ich kombinácie, ako aj pravdepodobnosť porúch. Používa sa bežne v geotechnike, statike a aj pri navrhovaní vodohospodárskych stavieb.

Statické riešenie hate pomocou medzných stavov pozostáva z posúdenia:

- **medzných stavov použiteľnosti (MSP)**, ktorými sa posudzuje vplyv pretvorenia konštrukcie na prevádzkyschopnosť hate. Ich prekročenie by ešte nevedlo 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**. Výpočet charakteristických hodnôt vybraných zaťažení pôsobiacich na hať je uvedený v Kap. 7.

- **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 (výpočtového) zaťaženia**.

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, a to:

- stabilita proti posunutiu,
- stabilita proti nadvihnutiu vztlakom vody,
- stabilita proti preklopeniu.

Ide o posúdenia tzv. **medzných stavov rovnováhy (EQU)** konštrukcie alebo jej časti **uvažovanej ako tuhé teleso**. Podmienku spoľahlivosti konštrukcie je možné pre EQU vo všeobecnosti vyjadriť vzťahom:



$$\gamma_1 E_{d,dst} \leq E_{d,stb} \quad (8.1)$$

kde:

γ_1 – je **súčiniteľ významu**, ktorý závisí od následkov, ktoré by boli spôsobené porušením stavebnej konštrukcie. Vodohospodárske objekty sa zaraďujú do tried následkov podľa *STN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhovania konštrukcií* s príslušným súčiniteľom významu podľa Tab. 8.1, kde pre:

- hate nižšie ako 5 m ($\gamma_1 = 1.1$),
- hate vyššie ako 5 m ($\gamma_1 = 1.2$).

$E_{d,dst}$ – návrhová (výpočtová) hodnota účinku destabilizujúceho zaťaženia,

$E_{d,stb}$ – návrhová (výpočtová) hodnota účinku stabilizujúceho zaťaženia.

Návrhové (výpočtové) hodnoty účinkov destabilizujúceho resp. stabilizujúceho zaťaženia sa v súlade s *STN EN 1991 Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií* vypočítajú podľa vzťahu:



$$E_{d,dst/stb} = \sum \gamma_F F_{k,dst/stb} \quad (8.2)$$

kde:

γ_F – je **parciálny súčiniteľ zaťaženia** – γ_F podľa Tab. 8.2,

$F_{k,dst/stb}$ – charakteristická (normová) hodnota destabilizujúceho resp. stabilizujúceho zaťaženia. Spôsob výpočtu charakteristických hodnôt vybraných zaťažení pôsobiacich na hať je uvedený v Kap. 7.

Každá staticky samostatne pôsobiaca konštrukcia hate sa posudzuje zvlášť. Pre posúdenie spolupôsobenia častí konštrukcie je rozhodujúce **umiestnenie dilatačných škár** (Kap. 6.6). Napr. v prípade ak je vývarová doska hate oddelená dilatačnou škárou je nutné ju posudzovať samostatne. V prípade, že konštrukcia hate vyhovuje vyššie uvedeným podmienkam, je možné prikrčiť k posúdeniu únosnosti základovej škáry, prelomeniu podložia a pod. **Hať pritom musí vyhovovať všetkým vyššie spomenutým posúdeniam pre všetky zaťažovacie stavy.**

Tab. 8.1 Triedy následkov pre vodohospodárske objekty a hodnoty súčiniteľa významu

Trieda významu	Popis	Príklady betónových vodohospodárskych stavieb	Súčiniteľ významu γ_1
CC3	Veľké následky s ohľadom na straty na ľudských životoch alebo veľmi významné následky ekonomické, sociálne alebo pre prostredie	priehrady, funkčné objekty sypaných hrádzí, hate vyššie ako 5 m , hlavné štôľňové privádzače pitnej vody do aglomerácií	1.2
CC2	Stredné následky s ohľadom na straty na ľudských životoch alebo značné následky ekonomické, sociálne alebo pre prostredie	čistiarne odpadových vôd, úpravné vody, vodojemy, akvadukty, kanalizačné stoky a potrubia vrátane šachtiet a čerpacích staníc, vodné elektrárne, hate nižšie ako 5 m , plavebné objekty	1.1
CC1	Malé následky s ohľadom na straty na ľudských životoch alebo zanedbateľné následky ekonomické, sociálne alebo pre prostredie	nábřežné múry, požiarne a iné obsypané nádrže, športové a kúpeľné bazény, plavebné kanály vo výkope, objekty na odvodňovacích a závlahových stavbách, žumpy, lapoly, nádrže domových ČOV	1.0

Tab. 8.2 Parciálne súčinitele zaťaženia na overenie medzného stavu rovnováhy – γ_F

Zaťaženie	Označenie	Hodnota
Trvalé nepriaznivé/destabilizujúce priaznivé/stabilizujúce	$\gamma_{G, dst}$	1.1
	$\gamma_{G, stb}$	0.9
Premenné nepriaznivé/destabilizujúce priaznivé/stabilizujúce	$\gamma_{Q, dst}$	1.5
	$\gamma_{Q, stb}$	0.0

8.1.1 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 je potrebné voliť takú reálnu a odôvodnenú kombináciu súčasne pôsobiacich zaťažení, ktorými sa vyvodí 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, haťové polia zahradené),
- stav pri revíziách a opravách – osadené provizórne hradenie v jednom haťovom poli, vyčerpaný vývar,
- stav pri prepúšťaní katastrofálneho prietoku – maximálna hladina hornej a dolnej vody.

V ďalšom texte sú uvedené príklady posúdenia stability hate proti posunutiu, nadvihnutiu a preklopeniu. Tak, ako bolo vyššie uvedené, pri posudzovaní hate je nutné nájsť taký reálny zaťažovací stav, ktorý vyvodí na konštrukciu hate pri danom posúdení tie najnepriaznivejšie účinky. Napriek tomu, že všetky prezentované posúdenia sú vykonané pre zaťažovací stav zodpovedajúci tzv. *normálnemu prevádzkovému stavu* (maximálna hladina hornej a minimálna hladina dolnej vody, haťové polia zahradené), neznamena to, že ide o zaťažovací stav, pri ktorom sa na konštrukciu vyvodí z pohľadu posunutia, nadvihnutia resp. preklopenia tie najnepriaznivejšie účinky. Pri komplexnom posúdení je nutné preveriť všetky reálne prevádzkové stavy, pričom hať musí vyhovovať predmetnému posúdeniu pre všetky zaťažovacie stavy.

8.1.2 Stabilita (odolnosť) proti posunutiu

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 podzákladi.

Rozhodujúci medzný stav stability konštrukcie proti posunutiu je potom najnepriaznivejší stav ušmyknutia pozdĺž niektorej z vyššie uvedených plôch.

Pri **posúdení spoľahlivosti konštrukcie proti posunutiu po základovej škáre** (Obr. 8.1) musí platiť podmienka:



$$\gamma_1 E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad (8.3)$$

kde:

γ_1 – je súčiniteľ významu, ktorý závisí od následkov, ktoré by boli spôsobené porušením hate podľa Tab. 8.1:

- hate nižšie ako 5 m = 1.1,
- hate vyššie ako 5 m = 1.2.

$E_{d,dst}$ – návrhová (výpočtová) hodnota účinku všetkých síl od zaťaženia, ktoré pôsobia rovnobežne so základovou škárou v smere uvažovaného posunutia,

$E_{d,stab}$ – návrhová (výpočtová) hodnota odporu proti posunutiu.

Pri výpočte návrhových hodnôt $E_{d,dst}$ a $E_{d,stab}$ podľa vzťahu (8.2) sa použijú parciálne súčinitele zaťaženia v závislosti od charakteru jednotlivých zaťažení podľa Tab. 8.2.

Charakteristickú (normovú) hodnotu sily odporu proti posunutiu (U_u) vyvolanú šmykovým trením a súdržnosťou podzákladia je možné určiť zo vzťahu:

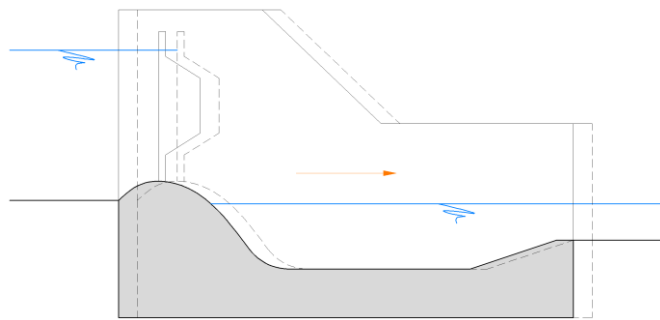
$$U_u = \mu_U N_d + c_U A_c \text{ [kN]} \quad (8.4)$$

kde:

- μ_U – 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_U – totálna výpočtová hodnota súčiniteľa súdržnosti zeminy [kN/m²],
- A_c – plocha základovej škáry, na ktorú pôsobia sily od súdržnosti [m²].

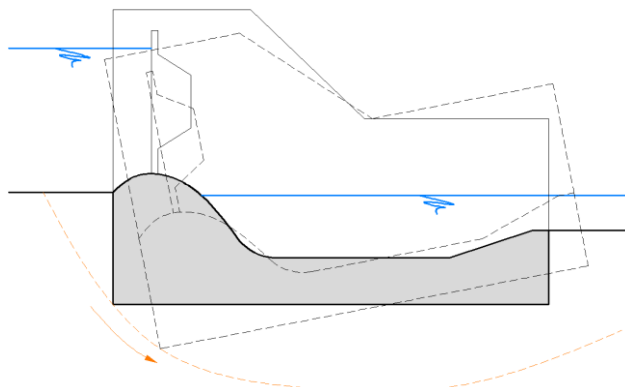
Pri posudzovaní stability objektov triedy významu CC3 (pozri) a ďalej hatí, vodných elektrární a plavebných objektov je nutné použiť charakteristiky zemín získané laboratórnymi skúškami.

Pri vzdúvacích stavbách s hradiacou výškou väčšou ako 15 m sa pri posúdení stability neuvažujú návrhové hodnoty zaťaženia ale charakteristické hodnoty a súčasne sa zanedbáva vplyv súdržnosti zeminy na šmykovej ploche.



Obr. 8.1 Posunutie po základovej škáre – schéma

Stabilita proti ušmyknutiu po šmykovej ploche v podzákladí (Obr. 8.2) sa prešetruje metódami z oblasti mechaniky zemín napr. *průžková metoda* [13]. Pri stanovení potenciálnej šmykovej plochy je nutné venovať pozornosť hustote puklín v podloží, prípadne jeho vrstevnatosti. Hodnoty šmykových pevností podložia by mali byť stanovené na základe geologického prieskumu.



Obr. 8.2 Ušmyknutie po šmykovej ploche – schéma



Úloha č. 22

Je potrebné posúdiť predmetnú konštrukciu hate na odolnosť proti posunutia.



Riešenie úlohy č. 22:

Stabilita konštrukcie proti posunutiu sa stanoví na základe podmienky (8.3). Posúdenie haťovej konštrukcie proti posunutiu je vykonané pre zaťažovací stav zodpovedajúci tzv. normálnemu prevádzkovému stavu (maximálna hladina hornej a minimálna hladina dolnej vody, haťové polia zahradené) v zmysle Obr. 8.3. Horizontálne sily, ktoré pomáhajú posunutiu konštrukcie sú uvažované vo výpočtoch s kladným znamienkom a sily, ktoré pôsobia proti posunu znamienkom záporným. Horizontálne sily sú spôsobené aktívnym zemným tlakom a hydrostatickým zaťažením od vody. Vzhľadom na to, že v zmysle Kap. 6.2 je za vývarovým prahom navrhnutý zához z lomového kameňa sa s pasívnym zemným tlakom vo výpočtoch neuvažuje. Vertikálne sily, ktoré sú vyvolané vlastnou tiažou konštrukcie a zaťažením od vody sú vo výpočtoch uvažované s kladným znamienkom. Proti týmto vertikálnym silám pôsobí vztlaková sila, ktorá je vo výpočtoch uvažovaná znamienkom záporným. Pri výpočte návrhových hodnôt zaťaženia sa uvažuje (v zmysle Kap. 7), že zaťaženie od tlaku vody má vzhľadom na uvažovaný prevádzkový stav, stály charakter. Vztlak vody sa považuje vo všeobecnosti za premenné zaťaženie, pri ktorom sa pri výpočte charakteristických síl uvažuje s parciálnym súčiniteľom zaťaženia $\gamma_{0, dst}$ podľa Tab. 8.2. V závislosti od spoľahlivosti určenia veľkosti a rozloženia vztlaku však môže byť tento súčiniteľ znížený. Pri posudzovaní bežných (normálnych) prevádzkových stavov v prípade, že vztlaková sila bola stanovená na základe lineárneho úbytku vztlaku pozdĺž základovej škáry (tak ako v Kap. 7.1.4) je možné súčiniteľ zaťaženia znížiť na hodnotu $\gamma_{0, dst} = 1.1$. To znamená, že vztlak sa v takýchto prípadoch považuje za „de facto“ stále zaťaženie. V prípade, že je vztlak stanovený na základe modelového výskumu je možné znížiť hodnotu súčiniteľa zaťaženia $\gamma_{0, dst}$ až na hodnotu 1.0.



Výpočet:

Charakteristické hodnoty destabilizujúcich síl, ktoré pôsobia rovnobežne so základovou škárou v smere uvažovaného posunutia

$$E_a = 16.6 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.2})$$

$${}^hF_H = 186 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

Charakteristické hodnoty destabilizujúcich síl, ktoré pôsobia kolmo na základovú škáru

$$W = 985 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.4})$$

Návrhová (výpočtová) hodnota účinku všetkých destabilizujúcich síl, ktoré pôsobia rovnobežne so základovou škárou v smere uvažovaného posunutia – $E_{d, dst}$

$$\gamma_{G, dst} = 1.1 \quad (\text{parciálny súčiniteľ stáleho destabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2}).$$

$$E_{d, dst} = \gamma_{G, dst}(E_a + {}^hF_H) = 1.1 * (16.6 + 186) = 222.8 \text{ kN/m}$$

Charakteristické hodnoty stabilizujúcich síl, ktoré pôsobia rovnobežne so základovou škárou proti posunutiu

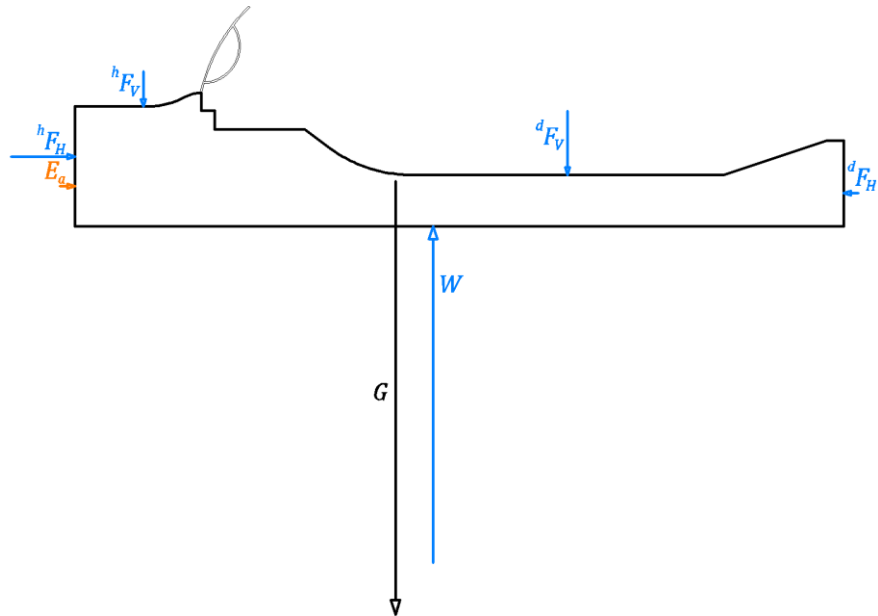
$${}^dF_H = 42 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.3.})$$

Charakteristické hodnoty stabilizujúcich síl, ktoré pôsobia kolmo na základovú škáru

$$G = 1\,268 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.1})$$

$${}^hF_V = 102 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

$${}^dF_V = 187 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$



Obr. 8.3 Výpočtová schéma posúdenia stability hate proti posunutiu po základovej škáre

Návrhová hodnota sily odporu proti posunutiu (U_u) vyvolaná šmykovým trením a súdržnosťou podzákladia

$\mu_u = 0.7$ (totálna výpočtová hodnota súčiniteľa šmykového trenia v klude medzi betónom a štrkom [-])

$c_u = 0 \text{ kN/m}^2$ (totálna výpočtová hodnota súčiniteľa súdržnosti štrkov)

$A_c = 22.5 \text{ m}$ (plocha základovej škáry, na ktorú pôsobia sily od súdržnosti)

$\gamma_{G, stb} = 0.9$ (parciálny súčiniteľ stáleho stabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2)

$\gamma_{G, dst} = 1.1$ (parciálny súčiniteľ stáleho destabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2; pričom vztlak v zmysle vyššie uvedeného považujeme za stále zaťaženie)

$$\begin{aligned} U_u &= \mu_u (\gamma_{G, stb} (G + {}^hF_V + {}^dF_V) - \gamma_{G, dst} W) + \gamma_{G, stb} c_u A_c \\ &= 0.7 * (0.9 * (1\,268 + 102 + 187) - 1.1 * 985) + 0.9 * 0 * 22.5 \\ &= 0.7 * (1\,401 - 1\,083) = 0.7 * 318 = 222.6 \text{ kN/m} \quad (\text{podľa vzťahu (8.4)}) \end{aligned}$$

Návrhová (výpočtová) hodnota účinku všetkých stabilizujúcich síl, ktoré pôsobia rovnobežne so základovou škárou proti posunutiu – $E_{d, stb}$

$\gamma_{G, stb} = 0.9$ (parciálny súčiniteľ stáleho stabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2)

$$E_{d, stb} = \gamma_{G, stb} {}^dF_H + U_u = 0.9 * 42 + 222.6 = 37.8 + 222.68 = 260.5 \text{ kN/m}$$

Posúdenie spoľahlivosti konštrukcie proti posunutiu podľa vzťahu (8.3)

$\gamma_1 = 1.1$ (súčiniteľ významu pre hate nižšie ako 5 m v zmysle Tab. 8.1)

$$\gamma_1 E_{d,dst} \leq E_{d,stab} = 1.1 * 222.8 \leq 260.5, \quad 245.1 \leq 260.5 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.1.3 Stabilita proti nadvihnutiu vztlakom vody

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 príťaženia. Toto nebezpečenstvo hrozí napr. pri štíhlych oddielatovaných vývarových doskách.

Pri posúdení spoľahlivosti konštrukcie proti nadvihnutiu vztlakom (Obr. 8.1) musí platiť podmienka:



$$\gamma_1 E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad (8.5)$$

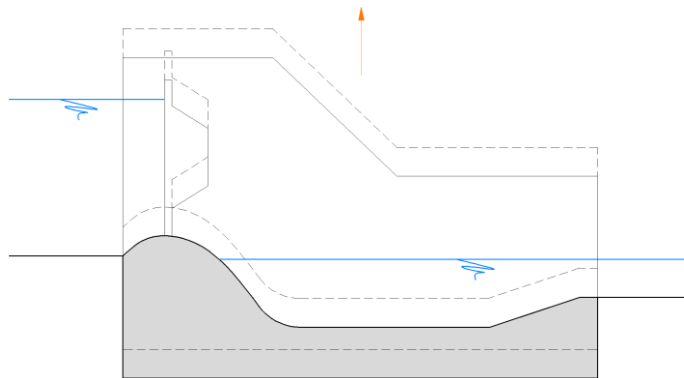
kde:

γ_1 – je súčiniteľ významu stavby podľa Tab. 8.1,

$E_{d,dst}$ – návrhová (výpočtová) hodnota výslednice síl od zaťaženia vztlakom,

$E_{d,stab}$ – návrhová (výpočtová) hodnota odporu proti nadvihnutiu vztlakom.

Pri výpočte návrhových hodnôt $E_{d,dst}$ a $E_{d,stab}$ podľa vzťahu (8.2) sa použijú parciálne súčinitele zaťaženia v závislosti od charakteru jednotlivých zaťažení podľa Tab. 8.2.



Obr. 8.4 Nadvihnutie – schéma

**Úloha č. 23**

Je potrebné posúdiť predmetnú konštrukciu hate na odolnosť proti nadvihnutiu vztlakom vody.

**Riešenie úlohy č. 23:**

Stabilita konštrukcie proti nadvihnutiu sa stanoví na základe podmienky. Tak ako v prípade úlohy č. 22 je prezentované posúdenie haťovej konštrukcie proti nadvihnutiu pre tzv. normálny prevádzkový stav (maximálna hladina hornej a minimálna hladina dolnej vody, haťové polia

zahradené) v zmysle Obr. 8.5. Pri komplexnom posúdení, je však tak ako v predchádzajúcom posúdení nutné preveriť všetky reálne prevádzkové stavy a nájsť ten najnepriaznivejší z pohľadu nadvihnutia.

Výpočet:

Charakteristické hodnoty destabilizujúcich síl spôsobených vztlakom

$$W = 985 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.4})$$

Návrhová (výpočtová) hodnota účinku všetkých destabilizujúcich síl – $E_{d, dst}$

$\gamma_{G, dst} = 1.1$ (parciálny súčiniteľ stáleho destabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2; pričom vztlak v zmysle vyššie uvedeného považujeme za stále zaťaženie)

$$E_{d, dst} = \gamma_{G, dst} W = 1.1 * 985 = 1\,083.5 \text{ kN/m}$$

Charakteristické hodnoty stabilizujúcich síl pôsobiacich proti nadvihnutiu

$$G = 1\,268 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.1})$$

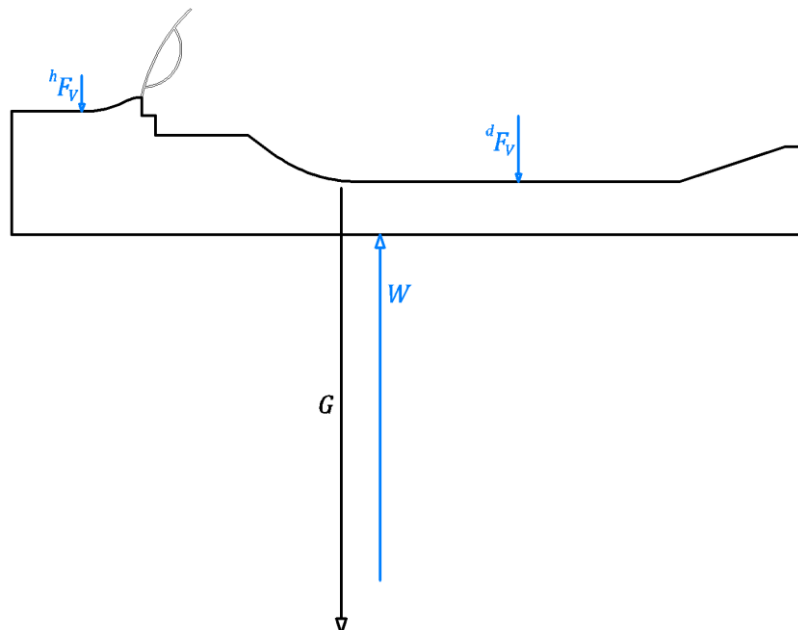
$$^h F_V = 102 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

$$^d F_V = 187 \text{ kN/m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

Návrhová (výpočtová) hodnota účinku všetkých stabilizujúcich síl – $E_{d, stb}$

$\gamma_{G, stb} = 0.9$ (parciálny súčiniteľ stáleho stabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2)

$$E_{d, stb} = \gamma_{G, stb} (G + ^h F_V + ^d F_V) = 0.9 * (1\,268 + 102 + 187) = 1\,401 \text{ kN/m}$$



Obr. 8.5 Výpočtová schéma posúdenia stability hate proti nadvihnutiu vztlakom vody

Posúdenie spoľahlivosti konštrukcie proti nadvihnutiu vztlakom vody podľa vzťahu (8.5)

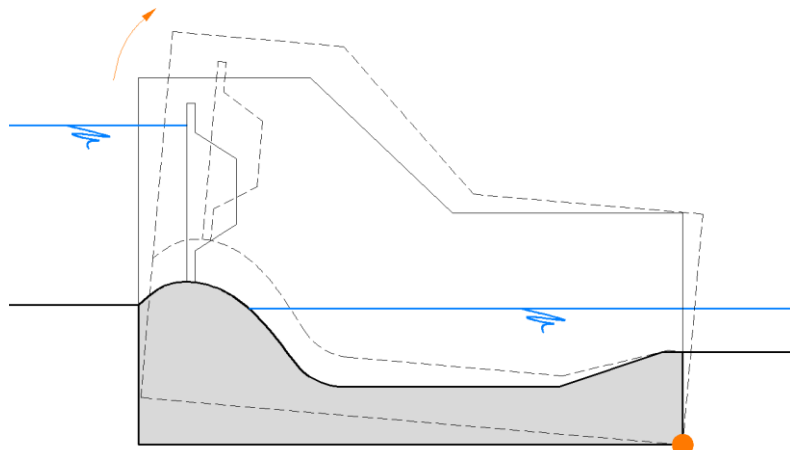
$\gamma_1 = 1.1$ (súčiniteľ významu pre hate nižšie ako 5 m v zmysle Tab. 8.1)

$$\gamma_1 E_{d,ast} \leq E_{d,stb} = 1.1 * 1\,083.5 \leq 1\,401, \quad 1\,192 \leq 1\,401 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.1.4 Stabilita proti preklopeniu

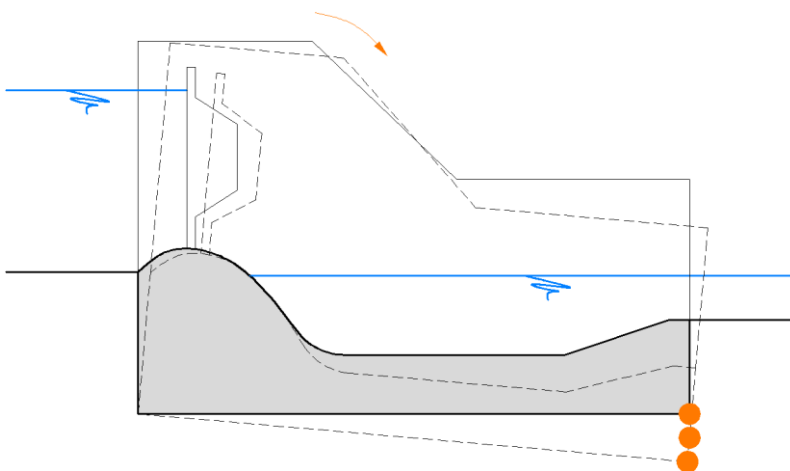
Preklopenie konštrukcie by nastalo, ak by výslednica vonkajších síl (napr. hydrostatický tlak vody, vztlak) vytvorila moment, ktorý by mohol konštrukciu preklopiť okolo jej hrany.

V prípade skalného (nestlačiteľného) podložia môže prísť k preklopeniu telesa hate okolo vzdušnej päty vývaru (Obr. 8.4).



Obr. 8.6 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. 8.7).



Obr. 8.7 Preklopenie pri stlačiteľnom podloží – schéma

Pri posúdení spoľahlivosti konštrukcie stability proti preklopeniu (Obr. 8.6) musí platiť podmienka:



$$\gamma_1 E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad (8.6)$$

kde:

γ_1 – je súčiniteľ významu stavby podľa Tab. 8.1,

$E_{d,dst}$ – návrhová (výpočtová) hodnota aktívneho/destabilizujúceho momentu síl od zaťaženia spôsobujúceho preklopenie konštrukcie okolo osi,

$E_{d,stab}$ – návrhová (výpočtová) hodnota pasívneho/stabilizujúceho momentu síl od zaťaženia pôsobiaceho proti preklopeniu.



Úloha č. 24

Je potrebné posúdiť predmetnú konštrukciu hate na odolnosť proti preklopeniu.



Riešenie úlohy č. 24:

Stabilita konštrukcie proti preklopeniu sa stanoví na základe podmienky (8.6). Tak, ako v prípade predchádzajúcich úloh, je prezentované posúdenie haťovej konštrukcie proti preklopeniu okolo vzdušnej päty vývaru pre tzv. normálny prevádzkový stav (maximálna hladina hornej a minimálna hladina dolnej vody, haťové polia zahradené) v zmysle Obr. 8.8. Pri komplexnom posúdení, je však tak, ako v predchádzajúcich posúdeniach, nutné preveriť všetky reálne prevádzkové stavy a nájsť z pohľadu preklopenia ten najnepriaznivejší. Navyše je nutné preveriť aj viac možností bodu otáčania v prípade, že sa očakáva zatlačenie konštrukcie do podlažia.



Výpočet:

Charakteristické hodnoty destabilizujúcich síl

$$E_a = 16.6 \text{ kN/m} \rightarrow r_a = 1.17 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.2})$$

$${}^hF_H = 186 \text{ kN/m} \rightarrow {}^h r_H = 2.03 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

$$W = 985 \text{ kN/m} \rightarrow r_W = 12.01 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.4})$$

Návrhová (výpočtová) hodnota aktívneho momentu všetkých destabilizujúcich síl – $E_{d,dst}$

$\gamma_{G,dst} = 1.1$ (parciálny súčiniteľ stáleho destabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2; pričom vztlak v zmysle vyššie uvedeného považujeme za stále zaťaženie)

$$\begin{aligned} E_{d,dst} &= \gamma_{G,dst} (E_a r_a + {}^h F_H {}^h r_H + W r_W) \\ &= 1.1 * (16.7 * 1.17 + 186 * 2.03 + 985 * 12.01) \\ &= 1.1 * 12\,227 = 13\,445 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Charakteristické hodnoty stabilizujúcich síl

$$G = 1268 \text{ kN/m} \rightarrow r_G = 13.12 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.1})$$

$${}^hF_V = 102 \text{ kN/m} \rightarrow {}^h r_V = 20.5 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

$${}^dF_V = 187 \text{ kN/m} \rightarrow {}^d r_V = 8.08 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

$${}^dF_H = 42 \text{ kN/m} \rightarrow {}^h r_H = 0.97 \text{ m} \quad (\text{Kap. 7.1.3})$$

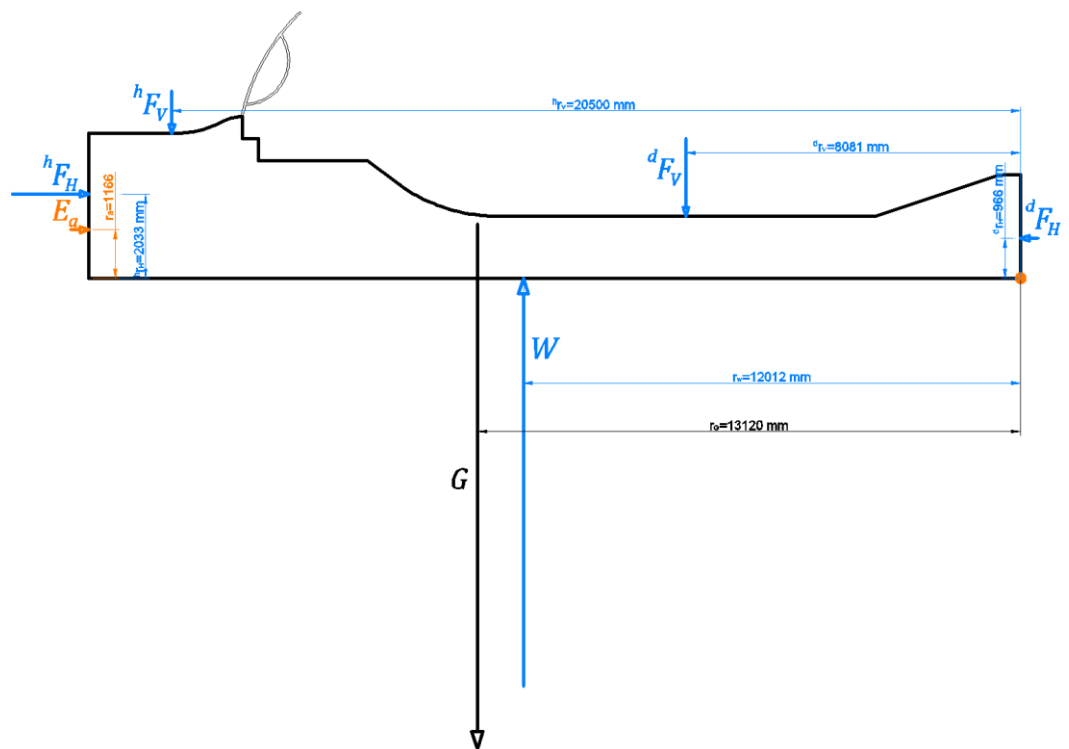
Návrhová (výpočtová) hodnota pasívneho momentu všetkých stabilizujúcich síl – $E_{d, stb}$

$\gamma_{G, stb} = 0.9$ (parciálny súčiniteľ stáleho stabilizujúceho zaťaženia v zmysle Tab. 8.2)

$$E_{d, stb} = \gamma_{G, stb} (Gr_G + {}^hF_V {}^h r_V + {}^dF_V {}^d r_V + {}^dF_H {}^d r_H)$$

$$= 0.9 * (1\,268 * 13.2 + 102 * 20.5 + 187 * 8.08 + 42 * 0.97)$$

$$= 0.9 * 20\,380 = 18\,342 \text{ kNm/m}$$



Obr. 8.8 Výpočtová schéma posúdenia stability hate proti preklopeniu okolo vzdušnej päty vývaru

Posúdenie spoľahlivosti konštrukcie proti preklopeniu podľa vzťahu (8.6)

$\gamma_1 = 1.1$ (súčiniteľ významu pre hate nižšie ako 5 m v zmysle Tab. 8.1)

$$\gamma_1 E_{d, dst} \leq E_{d, stb} = 1.1 * 13\,445 \leq 18\,342, \quad 14\,789 \leq 18\,342 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

9 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 – special'nyj 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_stavebných_konstrukcií.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. Überfall und Durfluss in Wasserbau*. Verlag G. Braun, Karlsruhe 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 Stilling 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 hospodárství 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] TARAJOVIČ, I. I.: *O tolščine plity vodoboja*. Gidrotechničeskoje strojitel'stvo, 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 vln 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*.
- [37] ŠULEK, P.: *Hate*. SvF STU Bratislava, 2023, ISBN 978-80-227-5381-4.
- [38] CHOW, V. T.: *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.
- [39] Brunner, G.W. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*; US Army Corps of Engineers; Report No. CPD-69; Hydrologic Engineering Center (HEC): Davis, CA, USA.
- [40] DHI (2024, July 03). *MIKE 11—A Modeling System for Rivers and Channels, User Guide*, DHI Software, 2017. Available online: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf
- [41] Deltares (2024, July 03). *SOBEK Hydrodynamics, Rainfall Runoff and Real Time Control, User Manual*, Delft, The Netherlands, 2024. Available online: https://content.oss.deltares.nl/sobek2/SOBEK_User_Manual.pdf (accessed on 03 July 2024).

- [42] Bürgler, M.; Caponi, F.; Conde, D.; Kammerer, S. (2024, July 03). BASEMENT Basic Simulation Environment for Simulation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation, System Manuals, ETH - VAW, Zurich, 2022. Available online: http://people.ee.ethz.ch/~basement/baseweb/download/documentation/BMdoc_Userr_Manual_v3-2-0.pdf

doc. Ing. Peter Šulek, PhD.

HATE: Návodý na cvičenia

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM
STU, Bratislava, Vazovova 5, v roku 2025.

Edícia skrípt

Rozsah 131 strán, 119 obrázkov, 13 tabuliek, 10,518 AH, 10,683 VH, 1. vydanie,
edičné číslo 6233, vydané v elektronickej forme.

85 – 216 – 2025

ISBN 978-80-227-5506-1
DOI: 10.61544/RZDD9325