

S 2143

ČE VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

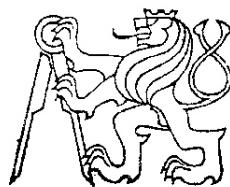
Fakulta stavební

## Provoz vodních děl

prof. Ing. Vojtěch Broža, DrSc.

prof. Ing. Karel Haindl, DrSc.

doc. Ing. Adolf Patera, CSc.



---

Vydavatelství ČVUT

## ÚVOD

Při zajišťování vody pro potřeby zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou, využití vodní dopravy atd., komplexním využíváním vodního bohatství, ochrané vodních zdrojů a ochraně před škodlivými účinky vody je nutno budovat vodohospodářská díla. Nepříznivé hydrologické poměry ve střední Evropě vyvolávají potřebu vytvářet náročné vodohospodářské soustavy s vynaložením velkých společenských prostředků. Jejich významnou součástí jsou vodohospodářská díla na tocích (včetně staveb spojených s úpravami toků), která budou předmětem našeho zájmu. Komplexy objektů, vytvářející vodní díla, vyžadují soustavnou péči v průběhu let, jejímž posláním je zajištění plánovaných vodohospodářských funkcí a dalších funkcí v přírodním prostředí, dobrý technický stav a provozuschopnost zařízení a ucelených souborů. Tu zajišťuje správce vodního díla, (popř. sam vlastník), popř. ve spolupráci s dalšími provozovateli (pokud se na provozu podílejí).

Poznámka: - Zvláštní kategorií, která bude předmětem našeho zájmu, jsou neupravené vodní toky. Jako významný prvek přírodního prostředí vyžadují soustavnou péči (mj. dochází k jejich poškození, např. za povodní), musí mít tedy svého správce - i když nemají žádnou pořizovací hodnotu. V průběhu provozu však je na ně nutno vynakládat jisté prostředky, aby vodní tok plnil pozitivní funkci v přírodním prostředí.

Pro většinu našich významných vodohospodářských děl na tocích bylo charakteristické, že jejich přípravu (předprojektová fáze i jednotlivé projektové stupně) a výstavbu neřídil bezprostředně budoucí správce resp. provozovatel (majitel), ale specializovaná inženýrska organizace (v letech 1952 - 1993 Vodohospodářský rozvoj a výstavba Praha).

Po dokončení výstavby vodního díla a přejimacím řízení správce na sebe přejímá povinnost provádět široký soubor činností, spojených s dlouhodobou péčí o objekty a zařízení tak, aby byly schopny plnit plánované funkce za nejrůznějších provozních situací při změnách přírodních podmínek. Základním hlediskem tu je co nejlepší technický stav vodního díla jako základní podmínka provozuschopnosti, dlouhé životnosti a co možná pozitivního působení v prostředí. Provozní činnost tvoří organický celek (i když s některými specifikami), který je třeba jako celek zajišťovat a řídit. Pro potřebu výkladu však odlišíme vodohospodářský provoz, zvláště pojednáme o zimním provozu, technickobezpečnostním provozu, o problematice jakosti vody v tocích a o otázkách interakce provozu vodních děl a okolního prostředí.

## 1. SPOLEHLIVOST VODNICH DEL ZA PROVOZU

Spolehlivost při zajišťování plánovaných funkcí vodních děl za provozu je základním požadavkem v průběhu jejich přípravy a výstavby, výrazem soustavné plánovité péče o technický stav a výsledkem snah o sladění s požadavky prostředí - to vše po dlouhé období, charakteristické pro provoz objektů zajišťujících využití vodních toků pro potřeby různých uživatelů i základní funkce vodních toků v krajině.

Přitom je nezbytné sledovat i racionalnost provozu, kterou je možno zjednodušeně chápat jako plnění plánovaných funkcí (s potřebnou spolehlivostí) s vynaložením přiměřených nákladů (včetně zapojení provozních pracovníků do tohoto procesu).

### 1.1 ZVLÁSTNOSTI PROVOZU VODNICH DEL

#### • Dlouhá životnost

Vodní díla se vyznačují mimořádně dlouhou dobou jejich reálné životnosti resp. funkční spolehlivosti. U některých druhů objektů, např. ochranných hrází, plavebních zařízení, kanálů atd. dnes můžeme konstatovat, že slouží 500-700 popř. i více let. Hlavní příčinou tohoto jevu zřejmě je stálý růst požadavků na rozvoj a využití vodních zdrojů, na ochranu před škodlivými účinky vody popř. na zajištění dalších potřeb. K dlouhé životnosti dále přispívá významná interakce vodních děl s přírodním prostředím (např. stabilizace odtokových poměrů v povodí), mimořádná náročnost případné demolice těchto objektů včetně uvedení do původního stavu a v neposlední řadě sama schopnost těchto objektů dlouhodobě plnit požadované funkce.

Poznámka: Přesto se můžeme setkat s případy zrušení vodních děl, v minulosti např. s vysoušením rybníků, v zahraničí se zatopením starší přehrady vzdutím podstatně objemnější nádrže (např. přehrada Dixence ve Švýcarsku), u nás se zrušením nádrže Dřínov vyvolaném postupující těžbou uhlí v severočeské hnědouhelné pánvi ad.

#### • Proměnlivost provozních podmínek

Ta vyplývá jednak z proměnlivosti přírodních, zejména hydrologických poměrů vodních toků a obecných vlivů klimatu v průběhu roku, jednak z variabilitu nároků na vodní dílo. Pro vodní toky je zvláště významný povodňový režim bezprostředně spjatý se splaveninovým režimem a dále zimní režim, které nejvýznamněji ovlivňují vlastní vodní toky i vodní díla na nich.

S dlouhou životností souvisí změny ve využití vodních děl v průběhu let provozu. Ty vyplývají ze změn nároků na zásobování vodou i protipovodňovou ochranu vlivem rozvoje přilehlé oblasti. V některých případech může dojít ke změnám ve funkci vodních děl i v poměrně krátké době po výstavbě. Proto je trvale aktuální již při návrhu vodního díla zajistit jeho adaptabilitu na případné změny využití v budoucím provozu.

Poznámka: Příkladem významných změn ve využití je nádrž Vír na Svatce, vybudovaná v r. 1959 jednak pro využití vodní energie jednak pro ochranu před povodněmi. Po několika letech provozu v se oblasti vyskytly velké nároky na pitnou vodu (důsledek důlní činnosti), naštěstí dříve, než se kolem nádrže rozvinula rekreační výstavba. V současné době se má nádrž stát vý-

znamným zdrojem pitné vody pro brněnskou oblast - tentokrát za cenu významného omezení energického využití.

- Nereálnost jednoduché náhrady užitku

Pokud dílo plní funkci stabilizačního prvku toku, zajišťuje vzdutí vody pro různé potřeby apod., není reálné použít jednoduchého zálohování k zvýšení spolehlivosti požadované funkce. Obdobně je tomu při ochraně před povodněmi, kde však vlastní ekonomický efekt (tj. snížení důsledků povodňových škod) lze řešit popř. jiným způsobem.

Vodní díla k zajištění dodávky vody, tj. ve funkci zdroje povrchové vody, by popř. bylo možno v soustavě zálohovat dublováním jistého podílu celkové kapacity, v tomto globálním pojetí se však takové řešení nepoužívá pro mimořádně velkou investiční náročnost. Tu je častější použití limitované zálohy pro případ poruchy, která vždy nemusí rovnocenně nahrazovat původní zdroj.

Jednoduché zálohování zdvojením se popř. může uplatnit u některých součástí vodních děl, např. odběrných objektů, plavebních komor apod.

- Potenciální riziko vyplývající z existence vodních děl

Vedle důsledků pro plánované funkce vodního díla může zejména u vzdouvacích staveb porucha vyvolat ohrožení společenských hodnot ve velkém rozsahu a zejména lidských životů. Z této skutečnosti vyplývají zvláště nároky na spolehlivost stavebních konstrukcí, včetně předem připravených opatření pro zmírnění následků připadných poruch.

- Velká různorodost konstrukčních a funkčních prvků, konstrukčních materiálů a materiálů podloží

## 1.2 TEORIE SPOLEHLIVOSTI A JEJÍ UPLATNĚNÍ V PROVOZU VODNÍCH DĚL

Vodní díla jsou většinou složité technické soustavy zajišťující komplex vodohospodářských funkcí nepřetržitě po dlouhou dobu provozu. Proto se pro jejich provoz požaduje vysoká spolehlivost.

Spolehlivost se definuje jako schopnost zařízení uchovat své vlastnosti v průběhu času, tj. vykonávat plánovanou funkci v rámci požadovaných ukazatelů provozu. Matematická definice spolehlivosti je velmi obtížná. Proto se obchází číselným vyjádřením pravděpodobnosti zachování bezporuchové funkce v daných podmínkách popř. pravděpodobnosti výskytu poruch.

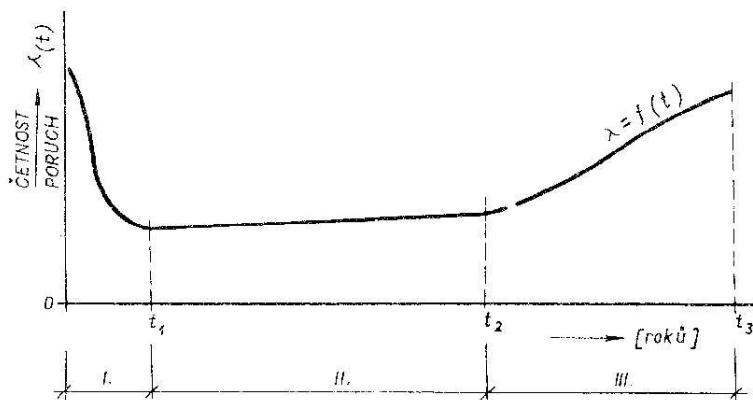
Hodnocení spolehlivosti tedy vychází především z poruch zařízení. Porucha je provozní stav, kdy zařízení neplní některou ze zadaných funkcí.

Podle míry neschopnosti provozu lze rozlišit poruchu úplnou nebo částečnou, charakterem vzniku jsou poruchy náhlé a pozvolné. Z hlediska provozu je důležité, zda se jedná o poruchu odvratnou nebo neodvratnou, skrytou či zjevnou.

U složitých soustav se poruchy mohou projevovat velmi rozmanitým způsobem, a proto je významné formulovat klasifikaci tak, aby co nejpřesněji vystihovala specifické vlastnosti i rizika provozu sledovaného zařízení.

Výskyt poruch na vodních dílech (obdobně i na jiných technických zařízeních) v závislosti na čase lze vyjádřit jednoduchým grafem (obr. 1.1); na ose pořadnic je měřítko počtu poruch za zvolenou časovou jednotku, např. za rok.

Je možno rozlišit tři charakteristická období. V počátečním období provozu (I) je typický výskyt velkého počtu poruch, který však má výrazně klesající tendenci. Je to období, kdy dochází k prvnímu zatížení objektu působícími účinky, k adaptaci díla na tyto účinky, což je doprovázeno různými poruchovými stavů. Jejich příčinou jsou poměrně často nedostatky výstavby a vady projektu; závady je nutno neprodleně odstranit. Druhým obdobím je období normálního (stabilizovaného) provozu (II). V tomto období je četnost výskytu poruch poměrně malá a je zhruba konstantní popř. s mírně stoupající tendencí v průběhu let.



Obr. 1.1 Charakteristické rozdělení četnosti poruch v průběhu životnosti vodního díla

Ve třetím období, tj. období pokročilého stárnutí, se již významně projevuje vliv opotřebení zařízení, porušení vlivem působení velkého počtu zatezovacích cyklů atd. Důsledkem je poměrně rychlý nárůst četnosti poruch a blíží se stav vyčerpání životnosti objektu nebo okamžik, kdy je nutno přikročit k celkové opravě objektu - pokud se jedná o dílo, jehož celkovou (generální) opravou lze zajistit obnovení jeho původních vlastností.

Poznámka : Místo četnosti poruch je možno si představit na ose pořadnic např. roční náklady nezbytné na odstranění vyskytujících se poruch.

Pro pravděpodobnostní charakteristiku spolehlivoosti se používá  
- funkce spolehlivosti  $P(t)$ , vyjadřující pravděpodobnost, že za dobu  $t$  nedojde k poruše ;

- hustota rozdělení pravděpodobnosti trvání bezporuchového provozu

$$f(t) = - \frac{d P(t)}{dt} ;$$

$$\text{- poměrná četnost poruch} \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

Nejpřesněji lze stanovit tyto charakteristiky empiricky, na základě dlouhodobého sledování poruch jednotlivých prvků soustavy, s rozlišením uvedených charakteristických období.

Pro období normálního provozu se většinou používá exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti.

Výraz pro hustotu rozdělení pravděpodobnosti je

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

kde  $\lambda$  je parametr rozdělení.

Pro období pokročilého stárnutí je však nutno použít složitějšího vyjádření, např. normálního nebo logaritmicko-normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Spolehlivost soustavy závisí na spolehlivosti jednotlivých prvků a způsobu jejich zapojování do soustavy. Je možno rozlišit dva základní způsoby zapojení prvků: sériové (za sebou) a paralelní (vedle sebe). V praxi však většinou jde o kombinaci těchto způsobů.

Vhodným příkladem zapojení prvků za sebou je např. vodovod rodinného domu, zahrnující studnu, domácí agregát (s automatickým zapojeným čerpadlem a akumulační tlakovou nádrží), přívod a domovní rozvod vody (jako celek).

Při zapojení prvků za sebou je spolehlivost soustavy dána součinem spolehlivostí všech prvků a je tudíž nižší než spolehlivost nejslabšího prvku. Celková četnost výskytu poruch soustavy je rovna součtu četnosti poruch všech prvků.

Paralelní zapojení prvků poskytuje spolehlivost soustavy

$$P_s(t) = 1 - Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdots Q_n(t)$$

kde  $Q_i(t)$  je pravděpodobnost poruchy i-tého prvku. Spolehlivost soustavy je tedy větší než spolehlivost nejkvalitnějšího prvku, chápáno ovšem z hlediska jeho kapacity.

Základními prostředky zdokonalování spolehlivosti soustavy jsou jednak zvyšování spolehlivosti jednotlivých prvků, jednak účelné zálohování.

Z hlediska zajišťování vodohospodářských potřeb jsou významné zejména poruchy funkce resp. spolehlivost např. dodávky vody, ochrany před povodněmi atd. Ty však závisí jednak na poruchách ve zdrojové oblasti (hydrologické poruchy a také poruchy jakosti vody) jednak na poruchách technického charakteru objektů resp. zařízení. Jde tedy současně o spolehlivost funkční a spolehlivost konstrukcí (chování při působících kombinacích zatížení).

Při klasifikaci poruch v každém konkrétním případě jsou nejvýznamnějším hlediskem jejich důsledky z hlediska plánovaných funkcí vodního díla; u objektů a zařízení sloužících ke vzdutí vody jsou pravděpodobné poruchy ohrožující jejich bezpečnost, chápáno z hlediska havarijního porušení těchto objektů.

Hlavním úkolem všech provozních činností je zajistit požadovanou spolehlivost funkcí, tj. účinně předcházet výskytu a důsledkům poruch. K nejzávažnějším patří úplné poruchy, pokud znamenají dlouhodobé vyřazení soustavy z funkce popř. nutí k zřízení náhradní soustavy (byť s dočasní funkcí). U vodních děl se ve většině případů jedná o pozvolně vznikající poruchy vlivem stárnutí objektů, kde je možno jako protiopatření použít systematickou údržbářskou a opravárenskou činnost popř. včas provést výměnu značně opotřebovaných prvků.

Při náhlých poruchách bez předchozích varovných projevů (typ skryté poruchy) mohou být důsledky velmi vážné, hlavně při poruchách globálního charakteru (např. při protržení hráze, při havárii tlakové štoly v systému přívodu vody). Výskyt náhlých poruch je častější při mimořádných provozních stavech, hlavně při průchodu významných povodní, při výskytu obtížných ledových jevů apod.

### 1.3 MIMORÁDNÉ PROVOZNÍ SITUACE

Úkolem provozu je zajistit plánované funkce vodních děl (v rámci tzv. vodohospodářského provozu) po co možná nejdelší období faktické životnosti díla (základní úkol v oblasti údržby a oprav - tj. technického provozu). Přitom u vybraných objektů je požadováno soustavně sledovat jejich technický stav a hodnotit jejich bezpečnost (technickobezpečnostní dohled jako součást provozních činností), což je zvlášť významné u objektů sloužících k vzdouvání vody (jezy, přehrady, hráze přivodních kanálů, hráze odkaliště).

V našich podmínkách v důsledku ročních změn přírodních podmínek je nezbytné pamatovat na spolehlivost funkcí vodních děl v zimním období (tzv. zimní režim), v průběhu let se mohou vyskytnout i další specifické provozní stavy (dynamické namáhání, obtížný chod splavenin, havárie v oblasti jakosti vody).

Pracovníci provozu musí být připraveni čelit případným důsledkům mimofádných provozních stavů.

Z vodohospodářského hlediska jsou mimofádnými stavami např. poruchy v dodávce vody, překročení neškodného odtoku za povodně, zvýšení max. hladiny nad povolenou mez atd.

Pro hodnocení bezpečnosti jsou zvlášť významné případy překročení mezních hodnot sledovaných veličin (stanoví se podle předpokladů projektu popř. i ověřovacího provozu) a výskyt dalších anomálních jevů zjištěných každodenní vizuální kontrolou.

Velmi závažným jevem na tocích za provozu (kromě výskytu povodňových stavů zvlášť významných pro samotné vodní toky) je výskyt a průběh havárií ovlivňujících jakost vody (ropná havárie, únik chemických láttek popř. obsahu jímek na odpady atd.).

Ke vzniku havarijní situace na toku může přispět i velmi obtížný průběh ledových jevů, ať již se jedná o vznik nápěchů, ledových zácp resp. polí, ucpání kašovitým ledem či námrazu na jezovém uzávěru.

Ve vztahu k okolí se mohou vyskytnout vážné problémy při ovlivnění vodního díla např. novou výstavbou v bezprostředním okolí, např. odstrfely pro výkopové práce, výstavbu podzemních objektů apod. Velmi složité je hodnocení dopadů potenciálních účinků zemětřesení, nelze zanedbat ani riziko dalších přírodních jevů (sesuvy údolních svahů, skalní řízení). Vážným problémem zejména v poslední době jsou dopady antropogenních vlivů v povodí. Naproti tomu provoz vodních děl musí přispívat k zmírnění negativních dopadů, vyplývajících z existence díla, na okolí.

Velmi závažným mimofádným provozním stavem vodního díla je případ, kdy se dílo jako celek popř. některý jeho významný objekt chová anomálně, tj. odlišně od předpokladů projektu. Příčinou takového stavu (vyloučíme-li elementární chyby) většinou je nedokonalé poznání skladby a vlastností podloží, do něhož objekt přenáší působící zatížení, popř. jiné nedostatečně známé účinky a vlivy.

Mimořádné provozní stavы znamenají pro pracovníky provozu zpravidla velké vypětí, použití speciálních opatření resp. technických prostředků a také zvýšené náklady. Kromě těchto pracovníků k zvládnutí takových situací je často nezbytná pomoc externích pracovníků, ve zvlášť obtížných situacích nasazení např. pracovní pohotovosti, požární ochrany, armády atd.

#### 1.4 DALŠÍ PROVOZNÍ STAVY

Při uspokojivém technickém stavu vodního díla by měl být charakteristický ustálený normální provoz, při němž se vykonávají úkony plánovaných manipulací, péče o objekty a zařízení a běžné provozní opravy. Smyslem těchto úkonů je všeobecně přispět k tomu, aby dílo plnilo plánované vodohospodářské funkce. Ty postačí zajistit sami provozní pracovníci, přítomní přímo na objektech popř. soustředění ve specializovaných četách (pro strojní nebo elektrotechnické opravy atd.).

Jistý přechod mezi běžným provozem a mimofádnými situacemi tvoří některé zvláštní provozní stavby, pro něž je charakteristické, že jsou plánovány a připravovány v předstihu.

Do této skupiny patří např. odchylné manipulace od schváleného manipulačního řádu, které je možno uskutečnit až po souhlasu příslušného vodohospodářského orgánu, tj. útvaru pověřeného státní správou ve vodním hospodářství.

Typická jsou hlavně

- období vyprázdnění nádrže nebo jezové zdrže,
- období plánované odstávky v plavebním provozu na vodní cestě,
- období plánované velké opravy (s dočasným omezením popř. vyloučením plánovaných funkcí nebo některé z nich),
- období rekonstrukce při změně ve využití nebo při intenzifikaci vodohospodářských funkcí díla.

Stejně tak mimofádné provozní situace vyvolané výskytem jevů, jejichž intenzita je náhodná, avšak pro jejich zvládnutí byly předem vytvořeny podmínky, stanoveny zásady popř. zajištěny rezervy, je učelné odlišovat od stavů vyvolaných neočekávanou náhlou poruchou.

**Poznámka:** Mimofádným stavem, který však je nutno očekávat, je např. výskyt významné povodně. Pro takový případ má správce toku resp. vodních děl na toku připraveny příslušné materiální prostředky (povodňový dvůr, apod.); kromě toho k zmírnění povodňových škod je zaměřena povodňová ochrana jako speciální činnost zajišťovaná povodňovými komisemi příslušných místních obecních nebo okresních zastupitelstev.

Dojde-li např. k porušení hráze přivodního kanálu účinkem sesuvu v důsledku lokálně nefungující drenážní soustavy (což kontrolní systém nemusí vždy zachytit) jde o neočekávanou náhlou poruchu, která způsobí mimofádnou situaci vyžadující mimofádná opatření k jejímu zvládnutí.

#### 1.5 PROVOZOVATELÉ VODNÍCH DĚL

Vodní toky i vodní díla na nich mají své správce (resp. majitele), v případě vodních děl - složitých víceúčelových komplexů - může být vlastníkům větší počet (např. na VD Hněvkovice (1992) je hlavním správcem objektu Povodí Vltavy, budova vodní elektrárny včetně vtoků vestavěných v přehradním tělese je ve vlastnictví a.s. Vodní elektrárny, správcem odběrného objektu a navazující čerpací stanice je budoucí provozovatel jaderne elektrárny).

U našich významných vodních toků a děl na nich jsou tímto správci většinou bývalé podniky Povodí (Labe, Vltavy, Odry a Ohře), přeměněné dnes na organizace, jejichž hlavním posláním je systematická péče o odtokové poměry z povodí, a to z hlediska jednak kvantitativního jednak jakosti vody.

Provozní střediska téchto organizací, provozní technici, specializovaná strojní resp. elektro údržba, dispečinky spolu pracovníky obsluhy působícími trvale na dílech (hrázni resp. jezni) zajišťují vyhovující technický stav popř. bezpečnost vybudovaných vodních děl, podmiňující jejich provozní spolehlivost. Správci menších toků (včetně děl na nich) mohou být zemědělské organizace, rybářské spolky, akciové společnosti, obce i individuální vlastníci.

V současné době vztahy v oblasti vlastnictví a spravy vodních toků a vodních děl nejsou stabilizovány. Tento stav je důsledkem transformace naší ekonomiky, probíhajících změn v legislativě a celkového omezení vlivu státu v ekonomice i ve společenském rozvoji. Je možno očekávat výrazný nárůst počtu správců vodních děl, což si vyžadá důsledné uplatnění vodního práva, kvalifikované rozhodování státní správy a zintenzivnění inspekce.

V tomto duchu se nyní pracuje na novele vodního zákona, jsou snahy propojit vodní hospodářství s šíře pojatou péčí o životní prostředí atd. I když problematika péče o vodní toku a jejich povodí dnes gesčně spadá pod ministerstvo životního prostředí, ani tu zřejmě nejde o neměnný stav.

Budoucí vývoj péče o vodní toku a díla na nich zřejmě výrazně ovlivní uživatelská sféra, z níž vzejdou nové nároky na vodní zdroje, podstatně přísnější požadavky prostředí (legislativa i výkonné orgány) a také celkový stav naší ekonomiky (četné objekty na tocích slouží obecně veřejnosti a budují se nebo rekonstruují v rámci veřejných prací, úzce závislých na stavu rozpočtu státu).

#### LITERATURA

1. Zákon č. 138/1973 Sb. o vodách (vodní zákon).
2. Zákon ČNR č 130/1974 Sb. o státní správě ve vodním hospodářství (ve znění zákona ČNR č.49/1982 Sb.).
3. Vyhláška MVLH ČSR č.19/1978 Sb., kterou se stanoví povinnosti správců vodních toků a upravují se některé otázky týkající se vodních toků.
4. Cabrnoch,J.: Spolehlivost vodohospodářských soustav v nestacionárních podmínkách. ČVUT Praha, 1985 (kandidátská disertační práce).
5. Šembera,J.: Systém řízení vodního hospodářství. SZN Praha, 1987.

Poznámka: Probíhající transformace naší ekonomiky, legislativy a administrativy se mj. odráží i v rychlém zastarávání příslušné literatury (tu konkrétně pol. 1, 2, 3, 5).

## 2. VODOHOSPODÁRSKÝ PROVOZ

Zajištění plánovaných vodohospodářských funkcí děl na vodních tocích je základním úkolem jejich provozovatele resp. správce. K tomu je nezbytné kvalifikované provádění předepsaných manipulací s vodou, respektování zájmů dalších organizací popř. jednotlivců, využívajících území podél toku a aktivní vztah k prostředí, jehož je vodní tok významnou součástí. Kvalitní výkon vodohospodářského provozu není možný bez dobrého technického stavu objektů a zařízení sloužících k manipulacím s vodou, jejich bezpečnosti a provozní spolehlivosti za různých situací. Proto vodohospodářský provoz je třeba chápat jako součást širokého komplexu provozních činností; přitom s ohledem na bezprostřední vztah k základním úkolem vodního hospodářství ve společenském a ekonomickém systému však má prvořadý význam.

Smyslem vodohospodářského provozu na tocích je účelné a hospodárné využívání povrchové vody, ochrana před jejími škodlivými účinky a péče o jakost vody v tocích. Aktivní činnosti k zajištění těchto cílů jsou zejména:

- odběry vody z vodního toku z vodní nádrže;
- vypouštění vody do vodního toku popř. vodní nádrže (např. odpadních vod, důlních vod popř. vody převáděné z jiného povodí);
- manipulace s hladinami na toku, umělých kanálech, nádržích apod.;
- hospodaření s vodou v nádržích, umožňující ovlivňování průtokových poměrů zejména v málovodních obdobích (zásobní funkce) a v mimořádných vodních obdobích (ochranná funkce).

K nim je třeba přifadit i vytváření vodního prostředí pro různé účely (např. pro rekreaci) o požadovaných vlastnostech (včetně spoluvytváření přírodního prostředí), ovlivňování splaveninového popř. zimního režimu toku atd.

V praxi jde často o kombinaci uvedených činností, v souladu s požadovanou funkcí díla.

U nově budovaných vodohospodářských děl na tocích se požadavky na jejich funkci formuluji v době přípravy; jsou v plném rozsahu obsaženy v projektové dokumentaci. Schvaluji je příslušné správní orgány, které vydávají povolení k vodohospodářskému dílu resp. povolení k nakládání s vodami (stavební povolení); řídí se přitom platnými zákony, zejména vodním a stavebním zákonem, zákonem o životním prostředí atd.

U starších děl většinou jde o změny v jejich dosavadním využití, o intenzifikaci vodohospodářského efektu popř. o nové vzniklou potřebu řídit vodohospodářský provoz na objektu, který až doposud byl mimo zájem vodohospodářů.

Pro novodobý rozvoj využívání vodních zdrojů je charakteristické vzájemné propojování vodohospodářských děl v rámci společně zabezpečovaných funkcí. Postupně vznikají a rozvíjejí se vodohospodářské soustavy, v nichž každé vodohospodářské dílo má za provozu specifické poslání, podřízené optimální funkci celé soustavy. Tento trend byl podporován dřívějším centralizovaným (státním) vlivem v oblasti hospodaření s vodou. Avšak i při různorodých záměrech na využití vodních zdrojů v dané oblasti (ze strany různých subjektů), je účelné na smluvním základě dospět k optimálnímu provozu soustavy.

Ve všech uvedených případech je nezbytné, aby provozovatel vodohospodářského díla vykonával činnosti, zabezpečující plánované vodohospodářské účinky, popř. - je-li to efektivní a podmínky za provozu jsou příznivé - vyšší vodohospodářské efekty než plánované (alespoň dočasně).

Zájmy vodního hospodářství se u provozovaných vodohospodářských děl na tocích zajišťují důsledným dodržováním manipulačních řádů. Tam, kde vodohospodářská díla plánovitě spolupracují, se vodohospodářský provoz řídí komplexním manipulačním řádem soustavy - zpravidla s využitím vodohospodářského dispečinku jako moderního prvku řízení provozu.

## 2.1 MANIPULAČNÍ ŘÁDY

Manipulační řád je základní dokument pro vodohospodářský provoz vodního díla, zpracovaný v souladu s platnou normou (ON 73 6808 z r. 1984) schválený vodohospodářským orgánem.

Po věcné stránce se jedná o soubor předpisů, zásad a směrnic, upravujících nakládání s povrchovými vodami tak, aby to bylo v souladu s povolením vodohospodářského orgánu (tj. s plánovanými funkcemi vodohospodářského díla).

Požadavek (povinnost) vypracovat manipulační řád ukládá investorské organizaci (u nových děl) nebo správci díla (u děl v provozu) vodohospodářský orgán, zpravidla v rámci povolení o nakládání s vodami, povolení k vodohospodářskému dílu popř. jiným rozhodnutím (při změnách popř. zvláštních opatřeních).

**Poznámka:** Dnes by měl být správce resp. majitel díla vždy zároveň investorem - vyjimku mohou tvořit veřejné práce.

Manipulační řády se běžně zpracovávají :

- a) pro vodní nádrže nad 5000 m<sup>3</sup> s přívodem vody z toku(a odtokem do toku);
- b) pro pohyblivé jezy nebo pevné jezy s výpustmi a odběry;
- c) pro plavební kanály, průplavy;
- d) pro odběrné objekty, kde jde o podstatný vliv na vodohospodářskou bilanci a pro odběry s využitím vodní energie;
- e) pro výpustné objekty, čerpací stanice aj. zařízení přivádějící vodu do toku, významně ovlivňující vodohospodářskou bilanci nebo jakost vody.

Manipulační řád se vyžaduje i u odkališť s odtokem vody do toku, u čerpacích stanic tzv. vnitřních vod atd.

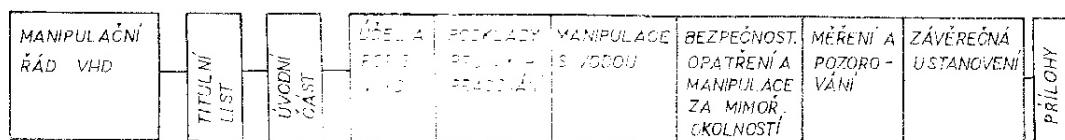
Komplexní manipulační řády vodohospodářských děl, pokud jejich účinek zasahuje více správních celků, schvaluje příslušný vyšší vodohospodářský orgán. Vodohospodářský orgán při schvalování stanoví i dobu platnosti manipulačního řádu a lhůtu prověrek. Maximální lhůta prověrek je 5 let.

U vodohospodářských děl, která nejsou plně v provozu (např. v počátečním období při zkušebním nebo ověřovacím provozu, při opravách) se na přechodné období vypracovává a schvaluje prozatímní manipulační řád. V tomto případě doba platnosti resp. lhůta prověrek nesmí překročit 1 rok.

Pokud dojde k významným změnám podmínek provozu proti předpokladům, za nichž byl zpracován manipulační řád, je správce povinen neprodleně zpracovat a předložit návrh na změnu manipulačního řádu. Takovou změnou např. může být změna v oficiálních hydrologických údajích (ČHMÚ), změny v původně plánovaném vodohospodářském využití díla apod.

Skladba a obsah manipulačního řádu jsou dány příslušnou normou (ON 73 6808) (obr. 2.1). Vedle základních údajů, včetně informací o správci díla, správci vodního toku, příslušném vodohospodářském orgánu, povodňových komisích popř. dalších orgánech a organizacích, je důležitý popis díla (objektů, zařízení) účelově zaměřený na schopnost manipulací s vodou (včetně grafických příloh) a také rozsah pozorování a měření. V této části se však zaměříme na mani-

pulace s vodou, a to jednak za běžných provozních stavů, jednak za mimořádných okolností.



Obr. 2.1 Schematické znázornění skladby manipulačního řádu

Všechna ustanovení a pravidla pro manipulaci s vodou za různých provozních podmínek a situací musí zajišťovat, aby

- vodohospodářské mělo místní plně postažované funkce;
- nedošlo k ohrožení lidské nebo životního prostředí, vlastního zájmu a bezpečnosti vodohospodářského firmy
- nedošlo k překročení mezních hodnot, stanovených povolením vodohospodářského orgánu (zejména max. hladin, max. odběru a vypouštění, mezních hodnot znečištění) – v rámci návrhové zabezpečenosti;
- nedocházelo k zhoršování jakosti vody nad nezbytně nutnou míru.

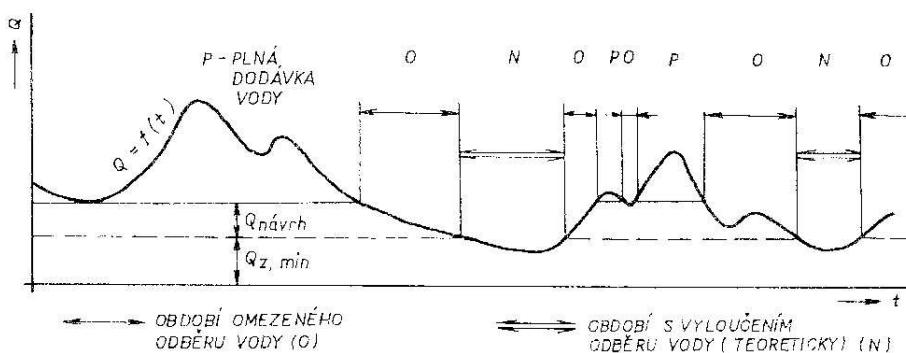
\* Odběr vody a vypouštění vody do toku jsou základní manipulační úkony vodohospodářských děl na tocích. V obou případech, vedle kvantitativní stránky, která bezprostředně souvisí s bilancí zdrojů a potřeb vody, je významná i problematika jakosti vody. Jednota problematiky množství a jakosti vody ve vodních tocích, které jsou v našich podmínkách převažující složkou vodního hospodářství, by měla vždy být základním přístupem i v provozu vodohospodářských děl. Zejména při vypouštění vody do toku je možno vhodnými technickými opatřeními napomoci k zlepšení kvality vody (vzdálené čištění odpadních vod) – viz dod. A.

Odběr vody je možno provádět z volné trati toku (i neupraveného), z jezové zdrže nebo z vodní nádrže. Každý způsob má své zvláštnosti, vždy však je nutné posoudit vliv odběru na další manipulaci s vodou, veřejné zájmy a zejména na prostředí. Závažné jsou rovněž zásady pro zajištění odběru vody v zimních podmírkách (kap. 3, dodatek B), v obdobích povodňových průtoků popř. při zhoršené kvalitě vody. Zvláštní pravidla je nezbytné formulovat pro malovodná období, kdy průtoky v toku poklesnou pod hodnotu minimálního zabezpečeného průtoku nezbytného pro zachování biologické rovnováhy popř. pro zajištění vodohospodářských potřeb níže na toku, tj. kdy se teoreticky odběr vody pferuší. Zejména při významných odběrech (vzhledem k vodnosti toku) však existují období s omezeným, tj. nezabezpečeným odběrem, pro něž rovněž musí být předepsána manipulační pravidla (obr. 2.2).

Obdobné problémy je nutno řešit a formulovat jako manipulační pravidla při vypouštění vody do toku. Navíc, zejména pokud se jedná o vypouštění odpadních vod (někdy i v jiných případech), je nutno respektovat nařízení a vyhlášky stanovující nejvyšší přípustné znečištění vod, včetně závazně stanovených podmínek. Obdobné je tomu v místech zaústění sběračů dešťové stokové sítě (při oddílné soustavě), při vypouštění vyčistěné vody z malých čistíren odpadních vod do místních toků apod.

Zvláštní pravidla, obvykle vázaná na průtokové poměry v toku (období zvýšené vodnosti), platí pro vypouštění zvláštních odpadních vod, např. z pros-

toru průmyslových resp. energetických odkališť, při zvýšené teplotě odpadních vod (v zimním období lze popř. ovlivňovat ledové jevy), při zvýšené koncentraci minerálních látek (popř. voda z okruhu cirkulačního chlazení) apod.



Obr. 2.2 Grafické vyjádření zabezpečnosti při významném odběru vody z vodního toku (bez regulace průtokového režimu)

#### • Manipulace s hladinou vody

Charakteristickým provozním úkonem pro jezové zdrže je určování hladiny na požadované úrovni, zpravidla pro umožnění resp. usnadnění odběru vody, pro vytvoření spádu popř. pro zajištění potřebné hloubky.

Pravidla pro manipulace, nezbytné k tomuto úkonu, vyplývají z vybavení vzdouvací stavby (jezu). Nejjednodušší jsou u pevného jezu, naopak složité předpisy je možno očekávat u zdymadel s víceúčelovým využitím pro odběr vody, využití vodní energie, plavbu, zejména pokud vodní dílo je součástí kaskády nebo soustavy. V kaskádě je většinou nezbytné zajistit sdružené manipulace – řízené dispečinkem.

**Poznámka:** V souvislosti s optimalizací podmínek pro plavbu na labské vodní cestě byly vhodné sdružené manipulace v kaskádě jaezových zdrží řešeny pomocí matematického modelu.

Podrobná manipulační pravidla se sestavují pro manipulace za povodní (při nástupu i při poklesu průtoků), dále je třeba určit zásady manipulací

- pro zimní režim, zejména pro propouštění ledů,
- pro propouštění splavenin a pro propláchování zdrže,
- pro případ vyřazení některého z jezových polí z manipulací (samostatně pro každé pole) apod.

I když v názvosloví se jezu zasadně připisuje jen úkol vzdouvat vodu, v běžné praxi se jezových zdrží využívá i ke krátkodobému popř. nárazovému řízení odtoku. V takových případech je toto omezené hospodaření s vodou usměrněno zvláštními manipulačními pravidly.

Manipulace s hladinou jsou významné i ve velkých kanálech, které slouží jako přivaděče k vodní elektrárně (popř. i jako plavební zařízení). Tu je nezbytné reagovat na reálné provozní stavy elektrárny (náhlé odstavení resp. zapojení, pološpičkový provoz, změna provozu na čerpadlový a naopak atd.) vyvolávající nestacionární procesy (vlnové jevy) v kanálech.

• Hospodaření s vodou ve vodních nádržích je komplexní provozní proces s největšími nároky na systém manipulačních pravidel. Většinou implicitně zahrnuje i odběry vody, vzdouvání hladiny popř. další úkony.

Náročnost manipulačních pravidel je závislá na vodohospodářské funkci nádrže; velkou složitost lze očekávat hlavně u víceúčelových nádrží se zvláštními způsoby řízení odtoku.

Soustava manipulačních pravidel musí spolehlivě zajistit takový způsob řízení odtoku, jaký byl předpokládán při vodohospodářském řešení v rámci projektové přípravy. Většinou se však uplatní i další požadavky, které je účelné v přiměřeném rozsahu respektovat, aniž by došlo k ohrožení plánovaných funkcí.

K základním manipulacím vodohospodářských děl s nádržemi patří vypouštění vody do toku pod nádrží, prázdnění resp. plnění nádrže (včetně sledování stavu naplnění), např. přímý odběr vody z nádrže. Opírají se zejména o podrobne zpracovanou čáru objemu (náplní) nádrže a o manipulační pomůcky k řízení odtoku resp. odběru s využitím různých manipulačních zařízení (výpustných, odběrných popř. i přelivných).

Manipulace k zajištění zásobní funkce se v běžných případech řídí pomocí jednorázových pravidel, udávajících velikost požadovaných odběrů z nádrže a vypouštění do toku (popř. vztázené na jednotlivá časová období v roce).

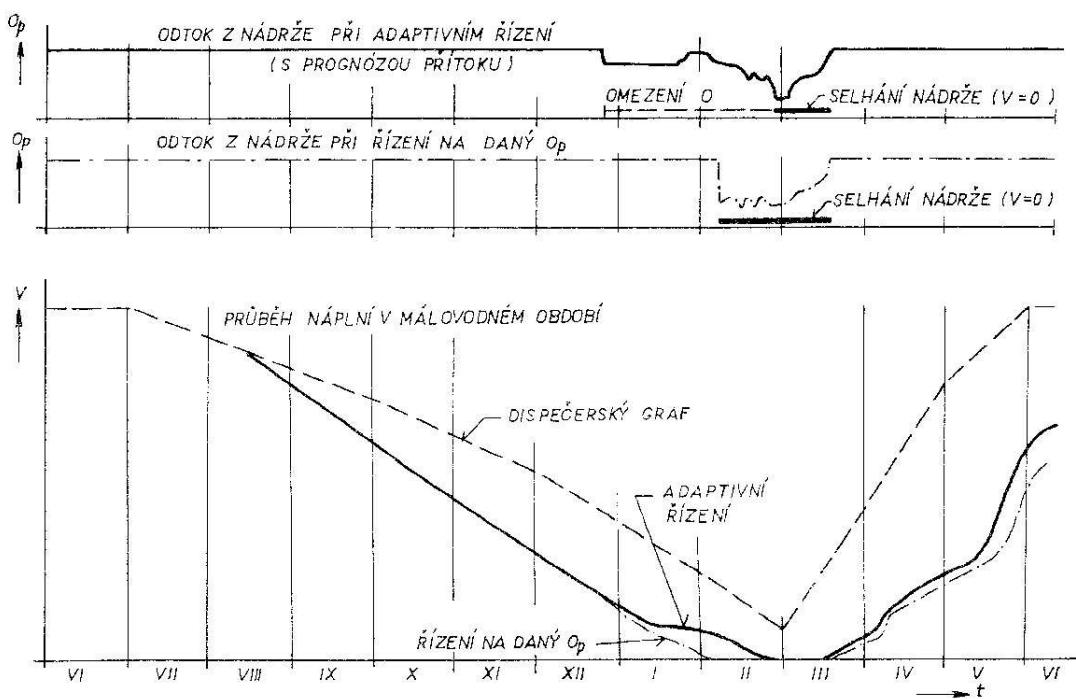
Poznámka: Pro provoz nádrží má zásadní význam soustavné sledování hodnot vypouštění a odběrů z nádrže; k tomu je nezbytné zajistit dostatečně přesné měření těchto hodnot (což v praxi často není zajištěno). U přímých odběrů, např. vodárenských, energetických popř. závlahových, většinou velikost odběru závisí na okamžitých potřebách příslušného uživatele (odběratele), což vede k proměnlivosti hodnoty odběru v závislosti na čase (i když ve vodohospodářském řešení byl popř. uvažován konstantní odběr). Kromě toho v průběhu let dochází většinou k nárůstu odběrů (v celoročním průměru), jak to vyplývá z trendu postupného nárůstu potřeby vody. Tyto stavby se při projektování díla ve vodohospodářském řešení většinou neuplatní (vyčíslují se sice tzv. špičkové odběry, krátkodobá rozkolísanost odběrů, trend nárůstu potřeby vody se však vesměs nahrazuje požadavkem na odběr vody k určité časové úrovni v budoucnu), v reálném provozu je však nutno s nimi počítat. Naopak existují i případy snížení odběrů vody, např. při změně technologie průmyslové výroby, při zvýšení cen vody atd.

U nádrží se sezónním (ročním) řízením odtoku se často uplatňují dispečerské grafy (popř. dispečerské tabulky), sleduje se i možnost využití předpovědi průtoků. Podmíněná platnost dispečerského grafu, konstruovaného zpravidla jako horní obálka čar prázdnění zásobního objemu, vyplývá ze složité zákonitosti průtokového režimu našich řek. Proto ani poměrně výrazné zaklesnutí objemu pod dispečerskou náplní nemusí být nutně příznakem blížící se poruchy v dodávce vody.

Důležitou součástí provozu nádrží se zásobní funkci je řešení poruch v dodávce vody. V zásadě jde o to, aby v těch obdobích, ve kterých zásobní objem nepostačí pokrýt nároky na zásobování vodou (v souladu s návrhovou zabezpečeností), nedošlo k úplnému selhání nádrže, ale aby za cenu prodloužení období omezené dodávky (v některých případech i teoreticky nadbytečných omezení) manipulace vedla k provozu blízkému optimu - s minimální ztrátou z nedodávky vody.

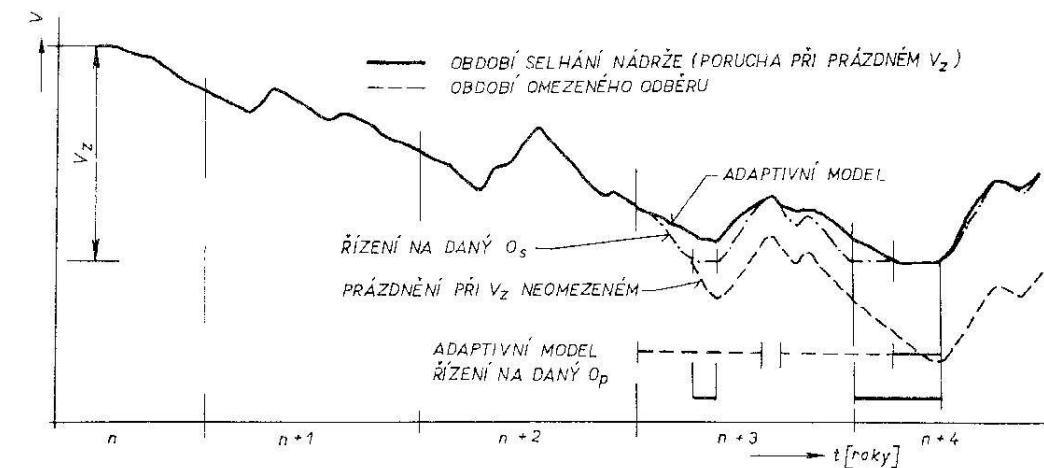
Metodický postup řízení zásobní funkce sezónní nádrže, opírající se o adaptivní model řízení, s využitím trendových zákonitostí ve vývoji málovodních období, krátkodobých a střednědobých předpovědí (obr. 2.3), rozpracovávají u nás v posledním období Nacházel, Patera a kol. [4]. Tu již nepostačí formulovat soustavu jednoznačných pravidel pro obsluhu, ale je nutno zahrnout je

v algoritmu řízení manipulace z hlediska zásobní funkce nádrže a programu řídicího počítače.



Obr. 2.3 Srovnání adaptivního řízení s řízením na daný zabezpečený odběr  $O_p$ ; nádrž se sezónním řízením odtoku

U nádrží s viceletým cyklem je sestavení vhodných manipulačních pravidel k omezení důsledků úplných poruch (selhání) v zásobní funkci podstatně obtížnejší s ohledem na náhodný charakter časových posloupností ročních průtoků. Význam včasného omezení dodávky vody tu je však zdůrazněn skutečností, že trvání poruch je ve srovnání se sezónními nádržemi podstatně delší (3 až 5 měsíců, při nižší návrhové zabezpečenosti i více - obr. 2.4).



Obr. 2.4 Schéma uplatnění adaptivního řízení při viceletém řízení odtoku z nádrže

Proto i tu je žádoucí uplatnit metodický postup analogický adaptivnímu modelu, a to alespoň při dosažení jisté míry vyprázdnění zásobního objemu. Značné problémy však vždy budou spojeny s hodnocením částečného povyprázdnění nádrže ve vztahu k návrhovým poměrům.

Poznámka: Omezování odběru v době, kdy v průběhu provozu nádrže dojde k výraznému zmenšení náplně, se v běžném provozu provádí i dnes. Hlavním důvodem pro takový v podstatě živelný postup je obava z úplného selhání významného zdroje vody - s příslušnými ekonomickými a politickými důsledky. Po dohodě s vodohospodářským orgánem a po projednání s odběrateli se v předstihu přechází na úsporné režimy odběru (jakési regulační stupně). I když takový postup může být dost vzdálen optimálnímu řešení, vede k podstatnému zmenšení rizika globálního selhání zásobování vodou ( použil se např. na Ostravsku v letech 1982 - 1984 v soustavě vodních nádrží pro zásobování pitnou vodou, a také v r. 1992 v extrémně málovodném období).

Metodicky ještě náročnější je zvládání poruchových období v zásobní funkci u nádrží, zajišťujících odběry vody pro více uživatelů s výrazně rozdílnou návrhovou zabezpečeností. Tu je nezbytné stanovit pravidla pro omezování dodávky vody jednotlivým odběratelům, podmínky a okolnosti, za kterých je možno omezit požadovaný minimální průtok v toku pod nádrží (včetně hledisek jakosti vody).

Zvláštní manipulační pravidla pro zásobní funkci je nutno formulovat pro kompenzační řízení odtoku, pro spolupráci nádrže v kaskádě nebo v soustavě apod.

V období hrozících poruch v dodávce vody může být aktuální i využití prostoru stálého nadřízení, který se jinak pro zásobní funkci nepoužívá. U vodárenských nádrží je zpravidla tento objem velmi malý, a proto k řešení poruchových situací přispívá jen nepatrně. Lze s úmě počítat pro zvládnutí náhle vzniklých hygienických závad na toku pod vodním dílem.

Plánované nasazení prostoru stálého nadřízení v mimořádných situacích musí být zahrnuto v manipulačním fádu, včetně omezujících podmínek.

\* Manipulace za povodní se řídí soustavou manipulačních pravidel, která musí zajistit projektovanou ochrannou funkci nádrže (pokud byla uvažována), převedení povodňových vln přes vodní dílo, požadavky povodňové služby popř. další hlediska. Je nutno stanovit i pokyny pro včasné vyprázdnění ochranného prostoru.

Manipulační pravidla povodňového řízení odtoku by obdobně jako při zásobní funkci měla přispět k dosažení výšších efektů za provozu, než požadoval projekt. Jisté možnosti tu skýtá částečné využití zásobního prostoru, např. zavedením předpovědní služby, umožňující předvypouštění před nastupem povodně.

Požadavek snížení povodňových průtoků na neškodnou míru je vždy třeba chápát ve vztahu k návrhové mře ochrany před povodněmi (zabezpečeností), která zpravidla nepřesahuje 10 až 20 let (jen ve zvlášť významných resp. výjimečných případech 100 let nebo více). Při větších povodních dojde k překročení neškodného odtoku, což je nutno včas ohlásit dotčeným orgánům povodňové služby (povodňovým komisím).

V rámci vodohospodářského provozu na toku je ostatně významné každé výrazné zvýšení průtoku, i když nedosáhne neškodného průtoku. V zájmu bezpečnosti území podél toku je při takových manipulacích třeba předem uvědomit další správce objektů na toku, příslušná obecní zastupitelstva a úřady a další.

Poznámka: Provoz za povodní je obecně náročný. Vyžaduje, aby pro tyto případy byla zajištěna spolehlivost funkce pojistných zařízení, je nutno počítat s vyšší mírou opotřebení resp. poškození objektů (což je věci technického provozu).

Ve vztahu k veřejnosti je citlivá otázka míry ochrany před povodněmi. Tu se snadno, i když obecně nesprávně, vžije domněnka že výstavbou vodního díla bude území pod nádrží chráněno před povodněmi (včetně představitelů obcí, organizaci atd.). Při výskytu významné povodně pak dojde ke komplikacím na toku, povodňovým škodám a z nich vyplývajícím dalším obtížím. Správci vodních děl jsou pak často obviňováni, že k tomuto stavu došlo nesprávnou manipulací v době povodně a často je obtížné vysvětlit, že podle projektu může dílo zajistit jen omezenou míru ochrany před povodněmi (že tak bylo projektováno a vybudováno) a že by bylo nehospodárné je budovat na vyšší zabezpečenosť ochrany. Někdy dochází i k arbitrárním sporům, hlavně se zemědělcí, kteří se touto cestou domáhají nahradby za poškozené zemědělské kultury, snížení výnosů v důsledku zamokření apod.

V průběhu provozu vodního díla se vyskytnou provozní situace vyžadující zvláštní manipulace, na něž je nutno v manipulačním řádu rovněž pamatovat.

Mohou to být např. :

- manipulace zaměřené na propiachování splavenin;
- pravidla pro provozování dalších objektů, při němž dochází k odtoku vody, např. plavebních komor, rybích přechodů, vodních elektráren atd. ;
- manipulace pro ovlivňování zimního režimu na toku pod nádrží;
- zabezpečení potřeb technickobezpečnostního dohledu, funkčních zkoušek uzávěrů přelivů, výpustí nebo odběrů;
- zvláštní opatření vyplývající z nahodilých nebo plánovaných potřeb rybářství, rekreace u vody, vodních sportů apod.

Mezi nimi zvlášť významné jsou manipulace k ochraně resp. k zlepšení jakosti vody v nádrži a v toku pod vodním dílem. Významnou podmínkou pro žádoucí efekt těchto manipulací je soustavné sledování a vyhodnocování ukazatelů jakosti vody - s operativními opatřeními opírajícími se převážně o zhodnocení zkušenosti. Jde jednak o vlastnosti vody v nádrži a jejich změny v čase a prostoru (hlavně pro vodárenské odběry), jednak o vlastnosti vody v toku pod vodním dílem. Z nich lze manipulaci ovlivňovat zejména teplotu vody a její provzdušnění na výtoku z výpustí (viz dod. A).

Soustavná kontrola jakosti vody je ostatně neoddělitelnou součástí vodo-hospodářského provozu děl na tocích. Vzhledem k jejímu stále rostoucímu významu je ji věnována samostatná kapitola (kap. 6).

Všechny zvláštní manipulace jsou zásadně podminěny nenarušením hlavních plánovaných vodohospodářských funkcí nádrže.

V manipulačním řádu jsou zahrnutы i mimořádné okolnosti, zejména

- katastrofální povodně a živelní pohromy;
- havárie manipulačních zařízení popř. stav v ohrožení bezpečnosti vodního díla;
- havarijní ohrožení jakosti vody.

Za těchto stavů je nezbytné stanovit, kdo rozhoduje o mimořádných manipulacích (jde o osobní zodpovědnost) - ve vztahu k aktuálnosti hrozícího nebezpečí. Zároveň se stanoví povinnosti ke zmírnění vzniklých škod.

S ohledem na mimořádné okolnosti a také na zapojení vodních děl do vodo-hospodářských soustav je v manipulačním řádu nutno stanovit,

- které manipulace mohou být řízeny pokyny (příkazy) vodohospodářského dispečinku,
- které manipulace může nařídit vodohospodářský orgán,
- od kterých pravidel se za zvláštních okolností může obsluha díla odchýlit na základě vlastního posouzení vzniklé situace,
- od kterých předpisů pro manipulaci je možno odchýlit se jedině po projednání s vodohospodářským orgánem.

Případy, kdy vodohospodářské dílo je řízeno vodohospodářským (popř. vodárenským, energetickým, plavebním) dispečinkem, jsou dnes stále častější. Pak v manipulačních rádech musí být jednoznačně vymezena pravomoc a zodpovědnost těchto útvarů, včetně podmínek zastupitelnosti obsluhou díla v mimofádých situacích.

## 2.2 SCHOPNOST ADAPTACE NA ZMĚNY PODMÍNEK VODOHOSPODÁRSKEHO PROVOZU

Poznatky a zkušenosti z vodohospodářského provozu díla na tocích by mely být nejdůležitějším podkladem pro ověření správnosti předpokladů projektu a zpětnovazebně ovlivňovat přístupy projektantů.

Skutečnost, že se k vyhodnocení vodohospodářské funkce děl v provozu přikročilo zatím spíše vyjimečně, v rámci výzkumných resp. rozvojových prací (z iniciativy M. Lukáče, L. Votraby atd.), zřejmě vyplývá ze stavu, kdy správci těchto objektů neměli motivaci ani prostředky pro tuto činnost. Nezbytnou podmínkou tu je soustavné sledování bilančních členů (přítoky, vypouštění, odběry, změny náplní nádrží) a vyhodnocování účelnosti pravidel manipulace.

Přitom i v naší praxi se vyskytly případy selhání nádrže, tj. poruchy v dodávce vody, např. na VD Křimov a Klíčava. Pak je důležité zodpovědět, zda k poruše došlo v důsledku výskytu mimofádně málovodného období nebo zda došlo k překročení plánovaných odběrů atd.

Poznámka: Podstatně složitější je hodnocení ochranné funkce nádrží, protože s ohledem na extremálnost povodňového režimu čs. toků je k tomu nezbytné vyhodnocovat období o trvání několik desetiletí. Pro tak dlouhé období je však dnes nereálné očekávat stacionaritu průtokového procesu.

Dalším významným jevem, vyplývajícím ze zkušeností za provozu, je požadavek zajistit u nově budovaných vodohospodářských děl na tocích schopnost adaptace na změněné podmínky.

Ty je možno očekávat jednak v hydrologických údajích (zejména u teoretických povodní), jednak v nárocích na funkce vybudovaných děl.

Závažné problémy, spojené se zvýšením N-letých max. průtoků, jsou např. na VD Ružín na Hornádu, kde vybudované pojistné zařízení dnes nezajišťuje dostatečnou bezpečnost proti přelití koruny kamenité přehrady za mimofádné povodně (v rámci dnes platných norem a nově stanovených N-letých vod SHMU).

Změny ve funkci vodohospodářských děl v průběhu let provozu jsou odrazem změn v ekonomickém i společenském rozvoji oblasti, resp. odchylek v tomto rozvoji, proti předpokladům. Nové důvody pro tyto změny vznikají při zapojování vybudovaných děl do vodohospodářských soustav.

Ukazuje se, že u mnohých, i poměrně nedávno vybudovaných děl, nejsou prakticky žádné rezervy v kapacitách manipulačních zařízení (popř. existující kapacity, např. výpusti, jsou nedostatečné).

Při zásadních změnách ve funkci objektů je zpravidla nezbytná rekonstrukce manipulačních objektů. Tak tomu bylo např. u nádrže Souš, kde z původ-

ně retenční nádrže se stal významný zdroj pitné vody. V současné době se uskutečňuje rekonstrukce na VD Vír, kde nádržní objem, určený původně pro nalepšení průtoků pro špičkovou vodní elektrárnu a ochranu před povodněmi, má zajistit dostatek kvalitní vody pro zásobování Brněnska pitnou vodou (částečné vodárenské využití se realizovalo již dříve).

#### LITERATURA

1. ON 73 6808 Manipulační rády vodních děl, 1984.
2. Nařízení vlády ČSR č.25/1975 Sb., jímž se stanoví ukazatele přípustného stupně znečištění vod.
3. Gabriel, P.: Nestacionární proudění v složitých podmírkách systémů otevřených koryt. Závěrečná zpráva SVÚ č.II-7-3/5 ČVUT Praha, 1975.
4. Nacházel, K. - Patera, A.: Možnosti využití principu adaptivity pro řízení nádrží v reálném čase. Vodohospodářský časopis 1988, č.3.
5. Nařízení vlády ČSR č. 27/1975 o ochraně před povodněmi.
6. Lukáč, M. - Abaffy, O.: Porovnanie projektovaných a dosahovaných parametrov vodných nádrží. Príroda, Bratislava, 1982.
7. Votruba, L. a kol.: Hodnocení provozu významných údolních nádrží v ČSFR dokončených v l. 1953-1988, ČSPV, 1991.
8. Projekt Labe - úkol 04.02.02 Průběžná zpráva za l. 1991, 1992.

### 3. ZIMNÍ PROVOZ

#### 3.1 ZVLÁŠTNOSTI ZIMNÍHO PROVOZU V TUZEMSKÝCH PODMÍNKACH

Naše území leží klimaticky na přechodu mezi přímořským a kontinentálním podnebím v klimatických podmínkách považovaných většinou za mírné. Tato poloha však způsobuje značné rozdíly mezi pozorovanými teplotami: v extrémech se pohybuje v rozmezí od  $-42$  do  $+39^{\circ}\text{C}$ . Absolutní minimum, pozorované na našem území, bylo  $-42,1^{\circ}\text{C}$  (Čes.Budějovice-Litvínovice, 11.2.1929). Průměrná teplota závisí především na nadmořské výšce. Možné jsou také velké změny teploty vzduchu oběma směry: náhlá ochlazení i náhlé oteplení. Obojí ovlivňuje zimní provoz vodních děl. Bylo např. zaznamenáno ochlazení během jediného dne až asi o  $30^{\circ}\text{C}$ , za hodinu až o  $4^{\circ}\text{C}$ . V noci z 31.12.1978 na 1.1.1979 na meteorologických stanicích v Čechách naměřili pokles teploty vzduchu z  $+5$  až  $+10^{\circ}\text{C}$  na  $-15$  až  $-20^{\circ}\text{C}$ . Problémy může způsobit nepřiznivá kombinace určitých hydrologických a meteorologických, popř. i provozních podmínek. Zkušenost ze zimního provozu je tak v našich podmínkách už dlouhodobá.

Cílem kapitoly je jednak informativní seznámení s charakteristickými zvláštnostmi zimního režimu vodních toků, nádrží a vodních děl, jednak uvedení některých konkrétních příkladů a zkušenosti ze zimního provozu objektů na tocích a nádržích s návrhem vhodných opatření, která by zabránila nepřiznivým důsledkům nebo je alespoň omezila na nejnučnější míru. Hospodářské a sociální a mnohdy i politické důsledky ze zanedbaní nebo nesprávného vyřešení zimního provozu mohou mít až katastrofální charakter. Může jít o omezení až úplné ochromení života v rozsáhlých územích, obdobně jako při povodňových situacích v jiných obdobích roku. Zimní povodně (také tzv. ledové) mají zpravidla velmi nepřiznivý charakter. Přitom mají právě u nás poměrně velkou četnost výskytu.

#### 3.2 VYBRANÉ ZAKLADNÍ TYPY LEDOVÝCH JEVŮ A PROCESŮ

Typologie a terminologie ledových jevů a ledových procesů je v naší odborné literatuře podrobněji pojednána v pracích [11, 14, 19]. Uvedeme z ní pouze základní pojmy, nezbytné pro další výklad problematiky.

Povrchový led vzniká na vodní hladině toku nebo nádrži. Jeho základním znakem je celistvost. Vzniká-li krystalizaci z vody, říkáme mu led vodní, jestliže se na jeho tvorbě podílí sníh, jde o led sněhový, vytvořil-li se promrznutím ledové kaše (tento pojem viz dále), je to led kašový, který může obsahovat i úlomky ledu a ledovou tráť.

Za vnitrovodní led pokládáme shluky prvních ledových krystalů, které vznikly v přechlazené vrstvě vody na hladině, ale byly bezprostředně strženy do turbulentního vodního proudu. Led vzniká také na dně vodního toku (nádrže) nebo na konstrukcích na vodě. Rozlišuje se proto vnitrovodní led vznášený, který se pohybuje uvnitř vodního proudu s vysokou turbulencí, hlininový led, upoutaný na předmětech a konstrukcích pod hladinou vody, který má charakter nepruhledné houbovitě hmoty a dnový led přimrzlý ke dně toku, zejména ke kamenům na něm, také vesměs s charakterem nepruhledné houbovitě hmoty.

Základním, na pohled nejsnáze identifikovatelným ledovým jevem, je ledová pokryvka - plošné, rozsáhlý a celistvý ledový útvar na hladině, který může být z libovolného druhu ledu (vodního, sněhového, kašového atd.) Je-li hladká a rovná, nazývá se ledová celina. Struktura a textura ledu tvořícího ledovou

pokrývku má velký vliv na jeho fyzikálně-mechanické a termické vlastnosti. Struktura ledu je dána stavbou, rozměry, tvarem a vzájemnou orientací ledových krystalů. Textura ledu je dána množstvím, tvarem, rozměry a prostorovým umístěním různých příměsí v ledu a vzduchových bublin.

Nezamrzlá část vodní hladiny v ledové pokrývce je tzv. propar, který se tvoří v důsledku hydraulických, popř. termických podmínek v určitém místě vodního toku nebo nádrže.

Další ze základních ledových jevů popíšeme v pořadí, v němž je zpravidla můžeme na hladině vodního toku nebo ve vodním proudu pozorovat. Ledová mázdra (mázdra vlastně znamená "blána") jsou plošné shluky ledových krystalů na hladině, které se pohybují ve velmi tenké a pružné vrstvě. Projevuje se v podobě mastných skvrn na hladině. Ledovou kaši tvoří vnitrovodní led vynesený na hladinu. Ledová kaše nejprve vytváří okrouhlé útvary, zvané ledové koláče, později souvislejší a rozsáhlejší útvary, které vytváří ledový koberec.

Ulomky povrchového ledu (zpravidla malých rozměrů) tvoří ledovou tříšť, která buď plave po hladině nebo se ukládá a kupí při březích. Pohyb ledové tříště na hladině byvá někdy kombinován s pohybem ledové kaše.

Plošně největším útvarem, vzniklým rozlámáním ledové pokrývky nebo pevným spojením jiných ledových útvarů na hladině (promrznutím ulomků ledové kaše a tříště), je ledová kraj.

Přesně definovaným pojmem je i led u břehu, který je případem povrchového ledu, tvořícího se při březích vodních toků a nádrží, zatímco ostatní část hladiny je volná. Tvoří-li se postupným zamrzáním vody od břehu (kde jsou menší svislicové rychlosti), je to led břehový. Přimrzání plovoucí ledové tříště nebo ledové kaše ke břehům nebo k vytvořenému břehovému ledu vzniká led náenosový. Po odchodu ledů (při tání) zůstává u břehů zbytkový led. Uvedené typy ledových jevů je z genetických i provozních důvodů vhodné přesně rozlišovat.

Ledová kaše a ledová tříšť, které se pohybují na hladině, se za překážkou, popř. v jiném případě zmenšení rychlosti vody v korytě, při změnách směru toku, sklonu dna nebo příčného profilu ukládají, hromadí a zmenšují průtočný profil, který mohou celý vyplnit ledem. Vzniká ledový nápech, pro jehož vytvoření je zpravidla třeba velký průtok ledové kaše nebo tříště. Nad ním se voda v toku vzdouvá.

Hromadí-li se v korytě vodního toku ledové kry, vzniklé po rozrušení ledové pokrývky při odchodu ledů, tvoří se ledová zácpa. Pro její vytvoření platí obdobné podmínky jako pro ledový nápech (překážka nebo změna v korytě toku) a má obdobné následky, významné zmenšení průtočného průřezu a vzdutí vody. Pro opatření k jejich uvolnění je dobré správně odhadnout, zda jde o ledovou zácpu nebo nápech. Dříve často užívaný společný pojem ledová bariéra není vhodný.

Zastavme se ještě u základních ledových procesů: Tvorba ledové pokrývky je zamrzáním, konečný stav, s úplným pokrytím vodního vodního útvaru povrchovým ledem, je zámrz. Očinkem tepla nebo mechanických sil dochází k rozpadání ledové pokrývky. Pohyb ledových ker, způsobený odplavováním rozpadávajících se nebo dříve rozrušených ledových útvarů, nazýváme odchodem ledu na rozdíl od chodu ledu, který nastává při pohybu různých ledových útvarů na hladině pozorovaném v období vzniku ledových jevů. Jde o chod vnitrovodního ledu, ledové mázdry, ledové kaše nebo tříště; ve všech případech se jedná o pohybující se ledové útvary.

Pohybují-li se ledové kry nebo ledová tříšť natlačené do nápěchů či zácp, hovoříme o dřenici ledů. Tání je procesem přechodu ledu z pevného do kapalného skupenství.

Na každém toku lze pozorovat některé charakteristické ledové jevy a procesy. Např. na Labi se poměrně rychle vytváří ledová pokryvka, zpravidla ledová celina, stejně jako na většině nádrží (nebrání-li tomu intenzivní vlnění hladiny od větru). Ohře s velkým sklonem dna, drsným a mělkým korytem je typická intenzivní tvorbou vnitrovodního ledu a po té chodem ledové kaše, na Berounce i na Sázavě se při odchodu ledových ker a ledové tříště tvorí v určitých místech časté zácpy. Na Váhu je velmi intenzivní tvorba vnitrovodního ledu, což vede k velkému průtoku ledové kaše, na němž se podílí i drobná ledová tříšť. Tento ledový jev má do češtiny nepřeložitelný název srieň a může vést k tvorbě mohutných ledových nápěchů.

Ve starém korytě Dunaje byl typický výrazný odchod ledu v podobě mohutných ledových ker ohrožujících plavbu.

### 3.3 LEDOVÉ JEVY A PROCESY VE VODNÍCH TOCÍCH

Tvorba a pohyb ledových krystalů v proudici vodě má charakteristické vlastnosti, závisející mj. na míře turbulencie přechlazeného vodního proudu. Přechlazení může dosahovat hodnot až několika desetin stupně Celsia pod nulou. Přechlazení velikosti  $-1^{\circ}\text{C}$  lze v přírodních podmínkách dosáhnout jen ve velmi pomalu tekoucích nebo stojatých vodách.

Při malé turbulenci vodního proudu zůstávají vytvořené ledové krystaly na hladině a vzniká povrchový led. Při větší turbulenci jsou strhávány dovnitř vodního proudu. Tam dále rostou a shlukují se a hovoříme o chodu vnitrovodního ledu.

Dlouhou dobu se v celé svět. literatuře o ledotermice uvádělo, že vnitrovodní led se tvoří při průrezových rychlostech vody větších než  $v = 0,23 \text{ ms}^{-1}$ . Při  $0,15 < v < 0,23 \text{ ms}^{-1}$  se pozorovala jak tvorba vnitrovodního tak povrchového ledu. Bylo však zřejmé, že u hladkých koryt bylo třeba k tvorbě vnitrovodního ledu větší průrezové rychlosti a postupně se zjistilo, že rychlostní podmínka není postačující.

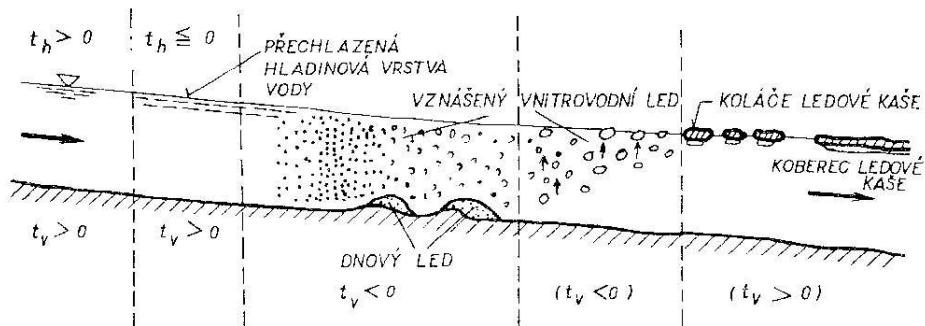
Na základě nových měření a pozorování v přírodě a v laboratoři<sup>\*)</sup> odvodil Matoušek [11] nové podmínky vzniku vnitrovodního ledu. Aby na toku vznikl vnitrovodní led, je třeba aby byly současně splněny tyto podmínky:

- 1) teplota hladiny  $t_h < -0,15^{\circ}\text{C}$ ,
- 2) průrezová teplota vody  $t_v < 0^{\circ}\text{C}$ ,
- 3) průměrná (průrezová) rychlosť vody byla větší než tzv. mezní rychlosť  $v_m$ , kde  $w_m = 0,066 [(0,7 \text{ C} + 6) \text{ C}]^{0,305} R^{0,5}$ , (C je Chézyho rychlostní součinitel, R je hydraulický polomér).

Třetí podmínka vyjadřuje potřebnou existenci výrazně turbulentního proudnění, které zřejmě podmiňuje strhávání ledových krystalů od hladiny do vodního proudu.

<sup>\*)</sup> V areálu Povodí Ohře v Terezíně byla na pravém břehu řeky v 80. letech vybudována přírodní ledotermická laboratoř, která umožnila provést řadu pokusů a měření ledových jevů a procesů v přírodních podmínkách, jejichž fyzikální modelování v uzavřených laboratořích je jednak nesnadné jednak nákladné.

Předpokládejme, že se v turbulentním proudu tvoří vnitrovodní led. Další vývoj a výskyt ledových jevů v toku je znázorněn pro takový případ na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Schéma vzniku a vývoje vnitrovodního ledu v turbulentním vodním proudu ( $t_v$  - průlezová teplota vody;  $t_h$  - teplota hladinové vrstvy)

Na hrbočích a kamenech na dně vodního toku se tvoří dnový led a shluky krystalů vznášeného vnitrovodního ledu postupně vyplouvají k hladině, tvoří koláče ledové kaše, které se dále mohou spojovat až do koberce ledové kaše.

Vnitrovodní led se může tvořit je v přechlazené vodě, s teplotou pod  $0^{\circ}\text{C}$ .

Na stojatých vodách a v málo turbulentním proudu, při nižších průlezových rychlostech pozorujeme tvorbu povrchového ledu. Pro jeho vytváření, tedy pro proces zamrzání, lze formulovat čtyři hypotézy, charakterizující čtyři různé případy zamrzání [11]:

- 1) spontánní zamrznutí hladiny,
- 2) rozšířování břehového ledu,
- 3) ucpání hladiny ledem za jeho chodu,
- 4) zastavení plovoucího ledu před překážkou.

K prvnímu případu dochází za mimořádně velkých tepelných ztrát z hladiny do atmosféry (např. za zvlášť silných mrazů).

Rozšířování břehového ledu je obvyklým případem, kdy se vytváří ledová pokrývka na hladině v místech s nízkými svislicovými a tím i povrchovými rychlostmi.

K ucpání hladiny ledem dojde při velké hustotě chodu ledu po hladině, když se shluky a koláče na hladinu vyplavavšího vnitrovodního ledu zastaví v důsledku tření o okraj břehového ledu.

Překážkou může být změna směru, změna šířky koryta, již vytvořená ledová pokrývka zvláště v jezové zdrži nebo nádrži nebo už dříve vzniklý ledový nápech či zácpa.

Podmínkou pro vznik ledové celiny na toku, který podmiňuje výrazná hustota tepelného toku z hladiny do atmosféry, odvodil Matousek [10] ve tvaru:

$$q_o \leq (1130 v + bw_2) \cdot (-1,1 - t_v) \quad (3.1)$$

kde  $q_o$  je výsledná ztrátová hustota tepelného toku z hladiny

(výpočet v příloze B.1) [ $\text{Wm}^{-2}$ ],

$v$  - průlezová rychlosť vody [ $\text{ms}^{-1}$ ],

$w_2$  - rychlosť větru ve výšce 2 m nad hladinou [ $\text{ms}^{-1}$ ],

$t_v$  - průlezová teplota vody [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Vztah (2.1) vychází z obecné rovnice tepelné výměny mezi hladinou vody a atmosférou ve tvaru

$$q_c = \alpha (t_h - t_v) \quad (3.2)$$

První člen na pravé straně rovnice (3.1) má význam součinitele přestupu tepla  $\alpha$ , závisejícího na průřezové rychlosti vody a rychlosti větru. Teplotu hladiny sítí jejím zámruž, která je však v praxi neměřitelná, doporučil Matoušek za-

vést hodnotou  $t_h = -1,1^\circ\text{C}$ .

Předpokládejme, že z výše položeného úseku s tvorbou vnitrovodního ledu, který tvorí nejprve shluky, vyplouvá na hladinu a pak se spojuje do ledových kolačů (viz obr. 3.2), připlouvá na hladinu k čelu vytvořené ledové celiny větší množství ledu. Ledová celina, popř. i jiná překážka na toku, brání plynulému chodu ledu, ledová kaše se o ni zastaví a promrzne v ledovou pokrývku.



Obr. 3.2 Schéma k výkladu strhávání plovoucího ledu pod překážku ( $v$  - průřezová rychlosí;  $v_{st}$  - strhávací průřezová rychlosí)

Tento proces pokračuje proti proudu, avšak jen do míst, kde průřezová resp. povrchová rychlosí není ještě tak velká, aby připlouvající led strhávala pod překážku. Tento stav přesně vymezil Michel [15] a odvodil výraz pro strhávací rychlosí (obr. 3.2) ve tvaru

$$v_{st} \geq 0,15 \sqrt{(1-\epsilon) g h_0} \quad (3.3)$$

v němž  $v_{st}$  má význam průřezové rychlosí vody [ $\text{ms}^{-1}$ ],

$\epsilon$  - pórovitost shluků ledové kaše (odhadně se jako bezrozměrné číslo mezi 0 a 1),

$g$  - gravitační zrychlení [ $\text{ms}^{-2}$ ],

$h_0$  - hloubka vody před překážkou [m].

Na některých tocích, v určitých podmínkách, zpravidla daných drsností koryta (lze ji charakterizovat Chézyho rychlostním součinitelem), se vyskytne ještě jiný případ počátku ledových jevů a procesů než už popsaná tvorba vnitrovodního ledu nebo přímo povrchového ledu (ledové celiny). Ledové krystaly vytvoří v přechlazené vrstvě na hladině tenkou, pružnou a pohybující se vrstvu, kterou označujeme jako ledovou mázdru. Chod ledové mázdry je tedy dalším možným případem počátku ledových jevů a procesů. Ledová mázdra vzniká na rozhraní mezi zámrzem (tvorením povrchového ledu) a tvorbou vnitrovodního ledu. Kdežto pro Ohři nebo Váh je charakteristický chod vnitrovodního ledu, ledová mázdra se vyskytuje v určitých podmínkách např. na středním Labi.

Proudící voda zpravidla neumožní růst tloušťky ledové mázdry ani její rozšíření po celé šířce hladiny. Po rozbití ledové mázdry, např. ve vývaru pod jezem, vznikne ledová kaše, avšak v tomto případně vytvořená z povrchového ledu.

Chod ledové mázdry, popř. dále ledové kaše, postupuje mezi pásy vytvořeného břehového ledu, který narůstá směrem od břehu až do míst, kde svislcová rychlosí nepřevýší přílišné hodnotu  $v = 0,23 \text{ ms}^{-1}$ . Ledová kaše přimrzá z boku k břehovému ledu formou tzv. nánosového ledu (viz kap. 3.2), který narůstá až do míst se svislcovými rychlosími kolem  $0,4 \text{ ms}^{-1}$ .

Zkoumejme dále úsek toku (volný, popř. s vytvořenými pásy břehového a nánosového ledu po stranách), v němž pokračuje chod ledu. Za turbulentního proudění má rychlosť kromě podélné složky (ve směru proudu) ještě příčnou - pulzační složku. Překročí-li její hodnota vzestupnou rychlosť shluků ledových krystalů, shluky se nemohou udržet na hladině a jsou znova strhávány do vodního proudu. Udržovací rychlosť ledových shluků na hladině je dáná vztahem [10] ve tvaru

$$v_u \leq 0,064 \sqrt{(0,7 C + 6) C} \quad [\text{ms}^{-1}], \quad (3.4)$$

kde  $C$  je Chézyho rychlostní součinitel. Čím "hladší" koryto, tím vyšší hodnota  $C$  a tedy i vyšší udržovací rychlosť na hladině. Uvedený vzah neplatí pro balvanitá koryta, např. horských toků s malou hloubkou vody, která nedostatečně překrývá všechny nerovnosti dna. Rychlosť vody a vysoká turbulence v těchto případech vesměs nedovolí udržení ledových útvarů na hladině. V horských tocích a bystřinách se však tvorí hlavně dnový led a chod ledu je v nich málo intenzivní.

Nebezpečím pro odběrné objekty na tocích je kupení ledové kaše za překážkou, v místech, kde je zabráněno jejímu volnému průchodu.

Kupení ledové kaše, mnohdy za účasti ledové tříště a úlomků ledu, vede k tvorbě ledového nápěchu, který se nejčastěji vyskytuje v jezových zdržích, popř. na konci vzdutí nádrží a při zaústění přítoků, kde bývá překážkou již vytvořená ledová celina.

Z rovnice pro výměnu tepla ve vodním proudu (3.1) plynne podmínka pro rychlosť, při níž nastane ještě vytvoření ledové celiny:

$$v_s \leq \frac{q_o}{1130 (-1,1 - t_v)} - \frac{b \cdot w_2^2}{1130} \quad (3.5)$$

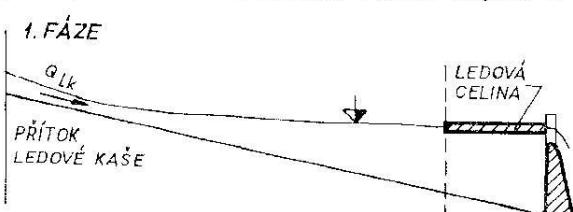
kde  $q_o$  je hustota ztrátového tepelného toku z hladiny do ovzduší (pro její určení viz přílohu B.1)  $[\text{Wm}^{-2}]$ ,

$w_2$  - rychlosť větru ve výšce 2 m nad hladinou  $[\text{ms}^{-1}]$ ,

$t_v$  - průřezová teplota vody  $[^\circ\text{C}]$ ,

$b$  - koeficient závisející na šířce hladiny  $B$  ve směru působícího větru (bezrozměrné číslo s hodnotami mezi 15 až 40).

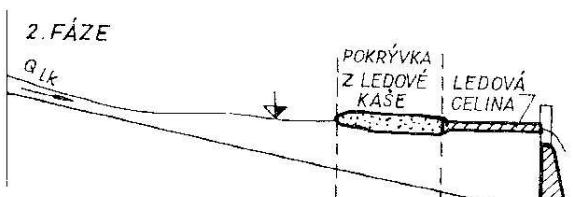
Ledový nápěch se vytvoří za dostatečného průtoku ledové kaše a při  $t_v = 0$ . Z toho pak můžeme dospět k podmínce pro průřezovou rychlosť vody, při jejímž podkročení se začíná tvorit nápěch :



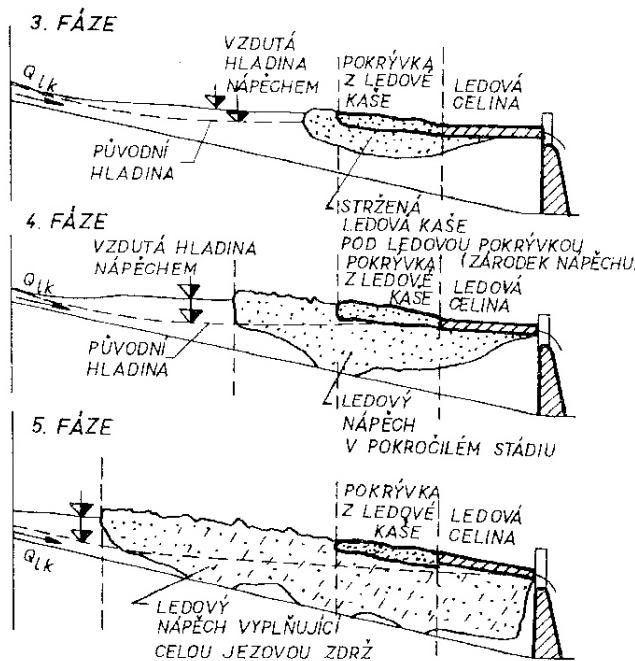
$$v_s \leq \frac{q_o}{1243} - \frac{b \cdot w_2^2}{1130} \quad (3.6)$$

Proces tvorby ledového nápěchu, který může vyplnit celý příčný profil toku, popř. celý úsek toku (jezovou zdrž), je znázorněn na obr. 3.3.

V našich podmínkách s nízkými maximálními hodnotami ztrátové hustoty tepelného toku (zpravidla do  $-300 \text{ Wm}^{-2}$ ) bývá rychlosť vody, při níž se bude tvorit ledová celina, nižší (v



Obr. 3.3 Proces tvorby ledového nápěchu



Obr. 3.3 Proces tvorby ledového nápěchu

daném rozmezí  $0,15$  až  $0,23 \text{ ms}^{-1}$  spíše blíže dolní mezi - obr. 3.3a).

Do oblasti s další hranicí průlezové rychlosti  $0,35$  -  $0,45 \text{ ms}^{-1}$  zůstává ledová kaše na hladině za překážkou (obr. 3.3b). Teprve po jejím překročení se strhává ledová kaše pod hladinu a začíná vytvářet ledový nápěch (obr. 3.3c). Ten může posléze dosáhnout až ke dnu (obr. 3.3d), postupně vyplnit celou zdrž (obr. 3.3e) a být zhutňován ve směru proudu přitákající vodou, popř. s dalším ledem. V nápěchu se zpravidla vytvoří průtokový kanál, který však nestačí na převádění průtoku a voda se nad nápěchem vzdouvá.

**Poznámka:** Mohutné ledové nápěchy se v minulých letech opakovaně pozorovaly v nádrži Kadaň na Ohři, do níž přítéká velké množství ledové kaše. Tyto nápěchy nebezpečně ucpávají vtokový objekt privadče průmyslové vody na Chomutovsko a Mostecko [13]. Z jejich pozorování je zřejmé, že nápěchy jsou v neustálém vývoji a nemají trvalejší ustálený stav. Cesta k nalezení jejich zákonitosti vede přes podrobné poznání jejich časového vývoje.

Nápěch může postupovat proti proudu řeky jen tehdy, vytvoří-li se před jeho okrajem podmínky, které nedovolují strhávání ledové kaše pod něj.

Nápěchy se začínají tvořit často za velkých průtoků, které však s postupem a prohlubováním mrazivého období výrazně klesají. Průtok vody klesá, ale tvorba ledové kaše se zvětšuje. To čini situaci velmi nepříznivou.

Ledová zácpa vzniká podobným postupem. Rozdíl je v době jejího vytváření, které nastává při odchodu ledových ker zpravidla na konci zimního období a v materiálu, z něhož je složena. Jde o ledové kry a úlomky ledu, které se hromadí, kupí a zaklínají do sebe.

Ledové zácpy jsou příčinou ledových povodní. Povodeň vytvořenou ledovou zácpou lze charakterizovat rozlitím vody z koryta nad zácpou při vzdutí hladiny (může být i několikametrové) a zátopami pod zácpou po jejím protržení hydrostatickým tlakem vody, mají všeměs nepříznivé následky. Zácpa se totiž vytvářejí v období vzestupu průtoků na tocích (jarního tání), kdežto nápěch přece jen při jejich postupném poklesu (např. při stupňování mrazů).

**Poznámka:** Nepříznivé ledové povodně se vyskytují na Berounce (např. v letech 1940, 1941, 1942, 1947, 1985). Z jejich souhrnného zhodnocení [12] vyplývá, že pro tři charakteristické úseky toku existuje vždy limitní průtok vody, při němž nastává odchod ledu. Tento limitní průtok závisí na tloušťce a pevnosti ledové pokryvky. Mohou se vyskytnout i dvě ledové povodně během

jedné zimy. Druhá povodeň je zvlášť škodlivá, zůstane-li v toku ledová zácpa z předchozí povodně.

V roce 1987 vznikl velmi nebezpečný ledový nápěch na řece Moravici v profilu Branka u Opavy [8]. Tehdy se v neupraveném úseku toku vytvořil nápěch, který vzdul hladinu nad ním. Ve výše položeném úseku toku, který byl už upraven, vystoupila voda na bermy a začala se na její hladině zachycovat připlouvající ledová tříšť. Za náhlého nástupu dalších silných mrazů tento led promrzl. Koryto, které bylo plné ledu, vzbuzovalo velké obavy pro případ náhlé oblevy. Proto se přistoupilo k rozrušování tohoto ledu, i když neměl kam odplouvat (koryto bylo zamrzlé až po ústí Moravice do Opavy). Rozrušování trhavinami bylo neúčinné, proto se přistoupilo k drcení ledu tanky a k jeho hrnutí k hrázim, tj. k okrajům koryta. Posléze byl led z kynety téžen bagry a hrnut bulldozery opět k hrázim. Po 18 dnech (!) se podařilo v zasaženém úseku vlastní kynetu koryta uvolnit; k tomu přispělo i nasazení dálkové řízeného buldozera Komatsu. Tak se zabránilo následným mimořádným komplikacím při odchodu ledu na Moravici.

V Evropě je dobře znám případ katastrofální ledové povodně na polské řece Visle u Plocku v okolí nádrže Włocławek. V lednu 1982 se za arktického počasí tvořilo obrovské množství ledové kaše, která byla v nádrži říčního typu strhávána pod ledovou pokrývku a vytvořila ledový nápěch o délce několika kilometrů, místy sahající až ke dnu nádrže. Na uvolňování ledu pracovalo 11 ledoborců [4, 21].

Přichodem teplého počasí nastává tání sněhové pokrývky v povodí a zvyšují se průtoky. Hladina v tocích stoupá, led se prolamuje, rozrušuje na kry a nastává odchod ledu. Tzv. rozrušovací rychlosť [10], potřebná k rozlámání ledové pokrývky, činí při tloušťce ledu kolem 0,2 až 0,3 m asi 0,5 až 0,8  $\text{ms}^{-1}$ .

Ledovou pokrývku lze ovšem rozrušovat i uměle - plavidly (ledoborci) a trhavinami. Rozrušení ledové pokrývky a odchod ledu způsobí také manipulace na výše položené nádrži nebo jezové zdrži. Prakticky jsou vždy vhodnější méně razantní způsoby rozrušování, nemůžeme-li vyčkat přirozeného rozrušení. Lze toho dosáhnout např. citlivou manipulací s hladinou v jezové zdrži a vypouštěním průtoků pod ní, popř. umělým rozpouštěním ledu od spodního povrchu, tj. vypouštěním teplejší vody pod led. Rychlý a nekontrolovaný odchod ledu vede totiž k nebezpečí vzniku rozsáhlých ledových zácp.

Znalost popsaných ledových procesů na tocích a jezových zdržích je nezbytná pro správný návrh a umístění odběrných popř. jiných objektů na tocích, pro správnou manipulaci na vodních dílech v zimním období pro různé účely a k ochraně před následky nebezpečných ledových povodní.

#### 3.4 LEDOVÉ JEVY A PROCESY V NÁDRŽÍCH

Charakteristickým ledovým procesem na počátku zimního období v nádržích je zamrzání. Hladina zamrzá převážně povrchovým ledem (ledovou celinou).

Led se tvorí v přechlazené vodě. Nutnou podmínkou pro vznik počáteční ledové vrstvy na hladině je přechlazení alespoň velmi tenké hladinové vrstvy. Teplotu hladiny však neovlivňuje jen výměna tepla s ovzduším, ale také mezi vodou a hladinou. Teplotu hladiny však dosud nedokážeme měřit a musíme ji určovat výpočtem z meteorologických a hydraulických veličin.

V podstatné časti nádrže bývá velmi malá rychlosť vody. O zamrzání nádrže proto rozhoduje hlavně rychlosť větru, přesněji velikost vln na hladině. Za větších rychlosťí větru nemůže vzniknout počáteční ledová pokrývka z krystalického vodního ledu. Za silného větru ( $w > 6 \text{ ms}^{-1}$ ) s několikadenním trváním může nastat přechlazení vody po celé hĺbke intenzívne promichané vrstvy a tvorba vnitrovodního ledu.

Nádrž tedy zamrzají jen za bezvětrí nebo za malých rychlosťí větru. K načeření hladiny a k zabránění vzniku ledového povlaku dochází při rychlosťi větru (ve standartní výši 2 m nad hladinou) větší než  $0,3 \text{ ms}^{-1}$ . Pak postačí k zamružení velmi malé mrazy. Ke vzniku přechlazené hladinové vrstvy může přispět husté sněžení. Obecně může nastat pět rozdílných případů zamrzání nádrží [3] podle místa a času vzniku a vývoje ledových útvarů:

a) Nádrž začíná zamrzat v její horní části, odkud se zamrz postupně rozšířuje směrem po toku k přehradě. Tento způsob zamrzání pozorujeme zejména u nádrží s výrazněji mělkovodní zónou v jejich horní části, kde nemohou být tepelné ztráty z hladiny kryty malou zásobou tepla ve vodě.

b) Nádrž zamrzá od přehrady směrem proti toku; oddálení zamrzu v horní části nádrže je způsobeno větší zásobou tepla v této zóně a oteplujícím účinkem přitékající vody na konci vzdutí nádrže, zamrzání u přehrady zároveň malým promicháváním vody v této části.

c) Nádrž začíná zamrzat nejprve ve střední části; tento případ nastává, jestli část nádrže u přehrady ovlivněna provozem vodní elektrárny a nemůže při promichávání vody zamrzat.

d) Začátek zamrzání se pozoruje současně na začátku a na konci vzdutí nádrže, teprve potom zamrzne střední část nádrže.

e) Současně zamrzá celá nádrž; tento případ nastává při velkých tepelných ztrátách z hladiny, kdy se vytvoří velké přechlazení v tenké povrchové vrstvě u hladiny v celém rozsahu nádrže.

Na proces zamrzání má vliv stabilita meteorologické situace v mrazivém období, morfologické podmínky nádrže a její provoz, zejména při mohutných odberech vody při hydroenergetickém využívání.

Nejdůležitějším ukazatelem intenzity ledových jevů v nádrži je tloušťka ledové pokrývky. Led narůstá od svého dolního povrchu směrem do vody a v určitých podmínkách i od svého horního povrchu směrem vzhůru (promrznutím sněhové kaše na ledě, popř. zamrznutím vody vyteklé na led).

Tlušťku ledové pokrývky potřebujeme znát pro řadu praktických úloh, např. namáhání konstrukcí, objektů, opevnění svahů proti účinkům ledu ad.

Růst ledové pokrývky z krystalického ledu lze popsát diferenciální rovnici (Stephan-Devikova rovnice, jak ji uvádí Piotrovič [16]) ve tvaru:

$$l_{2,1} \rho_1 dh_1 = - \frac{n \lambda_1 t_{vz}}{h_1^0 + \lambda_1 / \lambda_s h_s} dr \quad (3.7)$$

kde  $l_{2,1}$  je skupenské тепло tuhnutí vody ( $l_{2,1} = 355 \text{ kJ kg}^{-1}$ ),

$\rho_1$  - hustota ledu ( $\rho_1 = 920 \text{ kg m}^{-3}$ ),

$h_1$  - tloušťka ledu [ $\text{m}$ ],

$n$  - součinitel přechodu od teploty vzduchu měřené v meteorologické stanici na teplotu povrchu ledové pokrývky [-]; při rovnosti obou teplot  $t_{vz}$  je  $n = 1$ ;

$\lambda_1$  - měrná tepelná vodivost ledu ( $\lambda_1 = 2,18 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),

$t_{vz}$  - záporné teplota vzduchu v meteorologické stanici [ $^\circ\text{C}$ ].

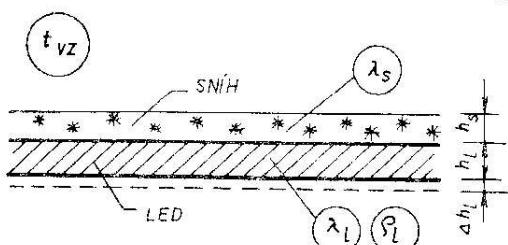
$t$  - čas [s],

$h_0$  - počáteční tloušťka ledové celiny [m],

$\lambda_s$  - měrná tepelná vodivost sněhu na ledě [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ],

$h_s$  - výška sněhové vrstvy na ledě [m].

Druhý člen ve jmenovateli na pravé straně rovnice (3.7) se uplatní tehdy, je-li na ledě sněhová vrstva. Význam symbolů je znázorněn též na obr.



Obr 3.4 Schéma k výpočtu narůstání ledové pokryvky

### 3.4.

Integraci rovnice (3.7), přijetím některých zjednodušujících podmínek a zavedením diskrétního časového kroku řešení lze dospět ke vztahu :

$$h_{1,\tau} = C \cdot \left( \sum_{\tau=t_0}^{t_0+\Delta\tau} t_{vz} \right)^n \quad (3.8)$$

v němž:

$t_{vz}$  je průměrná denní teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$C, n$  - číselné koeficienty [-],

$t_0$  - časový okamžik (den) počátku výpočtu,

$\Delta\tau$  - doba sledovaného růstu ledové pokryvky (dnů), který udává, že tloušťka ledové pokryvky závisí na součtu průměrných denních teplot vzduchu za období, v němž se led tvořil (nartstal).

Ze závislosti mezi růstem tloušťky ledové pokryvky a růstem součtu průměrných záporných denních teplot za výpočtové období vychází také řada empirických vzorců, z nichž některé byly s úspěchem ověřeny v našich podmínkách [19].

V uvedených vztazích se dosazuje suma průměrných denních teplot vzduchu  $t_{vz}$  ve [ $^{\circ}\text{C}$ ], součet tepelných ztrát z horního povrchu ledu do atmosféry ve [ $\text{Jm}^{-2}$ ] a tloušťka vrstvy sněhu na ledě  $h_s$  v [cm];  $h_{1,\tau}$  výjde vždy rovněž v [cm].

Uvedme některé z těchto vzorců, použitelné také v našich podmínkách.

Bydlný vzorec ve tvaru:

$$h_{1,\tau} = C \left| \sum_{0}^{\tau} t_{vz} \right|^{0.5}, \quad (3.9)$$

kde  $C = 3,68$  pro velké nádrže s nulovou rychlosí vody u hladiny;  $C = 2,00$  pro rychlosí u hladiny do  $v = 0,5 \text{ ms}^{-1}$  a výšku sněhu na ledě na konci zimy do  $h_s = 0,4 \text{ m}$  dává v našich podmínkách dobré výsledky teprve při  $h_{1,\tau} \geq 0,2 \text{ m}$ .

Pro ledovou pokryvku se sněhem byl pro tuzemské podmínky odvozen vztah tvaru [3]:

$$h_{1,\tau} = 3,54 (0,164 h_s^2 + \left| \sum_{0}^{\tau} t_{vz} \right|)^{0.5} - 1,43 h_s \quad (3.10)$$

v němž má  $h_s$  význam konečné tloušťky vrstvy sněhu na ledě (odhadne se).

Poznámka: Použití empirických vzorců pro výpočet růstu tloušťky ledové pokryvky lze považovat pro konkrétní lokalitu za východisko, avšak je potřebné jejich koeficienty pro příslušnou nádrž zpřesnit pozorováním v přírodě (verifikací vybraného vztahu).

Tlušťka ledové pokryvky je ovšem v různých částech nádrže ve stejném čase různá. Největší rozdíly se pozorují zpravidla na počátku zamrzání a odpovídají

dají zákonitostem zamrzání. Sněhová pokrývka na ledě je tepelným izolátorem a zpravidla výrazně snižuje intenzitu růstu ledu na spodním povrchu ledové pokrývky. Jestliže se však např. trhlinami v ledu dostane na povrch voda, po prosycení sněhu vodou a jeho promrznutím vzniká sněhový led, který může tvořit 20 až 40 % celkové tloušťky ledové pokrývky.

Intenzivní využívání nádrže, zejména hydroenergetické, vede ke změně hydrodynamických podmínek a v zóně v místě odběru k menší intenzitě růstu ledové pokrývky. Vesměs menší tloušťky ledové pokrývky ve srovnatelných klimatických popř. meteorologických podmínkách pozorujeme v nádržích přečerpávacích vodních elektráren.

Ledová pokrývka na hladině nádrže začíná tát s příchodem teplého počasí. Led odtává současně od horního i dolního povrchu. K odtávání od dolního povrchu dojde až při nenulové teplotě vody pod ledem. Tání podporuje prostá konvekce. Konvekcí se nazývá vynucené vertikální proudění, které nastává v důsledku rozdílných teplot a hustot vody ve svíslici: Voda pod ledem s teplotou kolem  $4^{\circ}\text{C}$ , ochlazená jeho odtáváním, klesá ke dnu a ke spodnímu povrchu ledu stoupá teplejší voda ode dna nádrže, která led dále rozpouští.

Je však poměrně pomalé a uplatňuje se při něm také mechanické vlastnosti ledu; klesá jeho pevnost, ledová pokrývka se rozpadává, až se mění na kaši, která se ve vodě rozpustí. Proces lze urychlit vypouštěním teplejší vody pod led, popř. čerpáním teplejší vody z větších hloubek (umělé rozpouštění ledové pokrývky).

Ledová pokrývka v nádrži však nezaniká jen rozpouštěním. V důsledku zvýšeného nebo nerovnoměrného zatížení sněhem, zvýšenými přítoky do nádrže pod led, manipulací s hladinou v nádrži apod. se ledová pokrývka rozláme. Pokud nejsou rychlosti vody v nádrži větší než  $0,4$  až  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ , může se rozlámány led nechat roztát v nádrži (obvyklý případ). Teprve při vyšších rychlostech je třeba ledy převádět, zpravidla přes přelivy (obvyklý případ spíše u jezových zdrží).

Při očišťování nádrže popř. jezové zdrži od ledu je třeba dbát na to, aby se nevytvářely ledové zácpky. Zejména v kaskádě nádrží a jezových zdrží je nezbytné provádět očišťování ledu koordinovaně. Pohyb ledových ker na hladině výrazně ovlivňuje také vítr (jeho rychlosť a směr).

### 3.5 ZIMNÍ PROVOZ ODBĚRNÝCH OBJEKTOU A UZÁVERŮ

V našich podmínkách je nezbytné při projektování odběrných objektů pamatovat na jejich spolehlivý provoz v zimních podmínkách. Uvážení specifických podmínek zimního režimu objektu může vést při projektu k zásadní změně koncepcie odběrného objektu nebo k jeho vybavení některými zařízeními, která jsou ve funkci pouze v zimním období.

Odběrné objekty se budují na volné řece, v jezových zdržích nebo ve vodních nádržích. Lze říci, že zpravidla nejvíce ohroženy bývají na volné řece, nejmenší problémy s odběry jsou z nádrže. Plyne to zejména z výskytu typických ledových jevů a průběhu charakteristických ledových procesů, které jsou podmíněny kromě klimatických, popř. meteorologických podmínek také hydraulickými poměry, zejména hloubkou a rychlosťí vody v okolí odběrného objektu.

Podle toho lze odběry z hlediska ledového režimu rozdělit na tyto případy:

- odběr z klidné vody, z větší hloubky pod hladinou pokrytou ledovou pokrývkou, v podmírkách, v nichž se netvoří hlubinný led,
- odběr z klidné vody, z větší hloubky, avšak v místech, kde se tvorí hlubinný led na konstrukcích a dochází k namrzání,
- odběr z proudící vody s chodem ledu pouze na hladině a
- odběr z proudící vody v podmírkách, kde se tvorí ledová kaše, popř. kde se vyskytuje ve větším množství ledová tříšť.

#### Odběrné objekty s výskytem hlubinného ledu

Odběrné objekty s odběrem z klidné vody je vhodné rozdělit na dvě skupiny: odběry s povrchovými nebo s ponorenými vtoky. U povrchových vtoků mohou být jejich součásti, zejména česle, nepříznivě ochlazovány ze vzduchu. V obou případech je pravidlem omrzání česlí a uzávěrů vtoků hlubinným ledem, u odběru s povrchovými vtoky navíc omrzání česlí a uzávěrů povrchovým ledem.

Povrchový led může zvyšovat zatížení uzávěrů, omezovat nebo vůbec zne možnit jejich pohyblivost, u česlí může vést k jejich ucpání v okolí hladiny a popř. k jejich poškození. Hlubinný led zvyšuje statické namáhání konstrukcí a způsobuje neprůchodnost česlí.

Namrzání česlí, které patří zpravidla mezi nejnepříznivější projevy zimního režimu odběrných objektů, lze předcházet buď použitím nemrzavých (méně namrzavých) materiálů nebo ohřevem.

Pomalejší namrzání ledu, menší míra přimrzání ledových krystalů přinášených vodou a nižší soudržnost ledu s povrchem lze vysvětlit nesmáčivosti (hydrofóbií) materiálu [12]. Tuto vlastnost má např. kaučuk, přírodní a umělý vosk, parafín, kamenouhelný dehet, asfalt a mnoho organických sloučenin a plastických hmot.

Významnou roli hraje také počátek namrzání. Tak např. na železo začínají namrzat ledové krystaly při teplotě vody  $-0,005^{\circ}\text{C}$ , na dřevo při  $-0,10^{\circ}\text{C}$ , na asfalt při  $-0,15^{\circ}\text{C}$ , na gumu až při  $-0,30^{\circ}\text{C}$  a na etyncol při  $-0,35^{\circ}\text{C}$ .

Všeobecně tu platí, že hladký povrch je příznivější než drsný.

Zvýšení nesmáčivosti a tím snížení namrzavosti lze dosáhnout podle mnohých dobrých zkušeností zejména sovětských autorů Dějeva, Vronkova, Dolgova a Alejnikova; jejich souhrn se uvádí v [19] s různou dodatečnou úpravou povrchu česlicových tyčí.

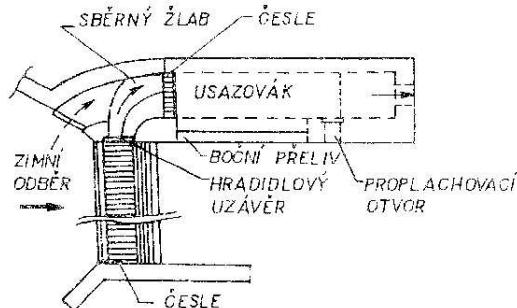
Kovové tyče se na povrchu opatří některými silikoorganickými sloučeninami nebo jejich polymery, dobře izolujícími proti vodě. Tím se vytvoří na povrchu hydrofóbni film, chemicky odolný a mechanicky pevný. Dobrý účinek má např. využití metyltrichlorsilanu ( $\text{Cu}_3\text{SiCl}_3$ ).

Potažení česlicových tyčí etylcelulózovou hmotou o tloušťce 2-3 mm podstatně snížilo namrzavost, přispělo dále k ochraně proti korozii i mechanickému poškození. Etylcelulóza má až 250-krát menší tepelnou vodivost než ocel.

Učinější je hydrofóbni vrstva na pórém povrchu betonu. U něho je snížení namrzavosti podstatně výraznější než u aplikace stejného způsobu na kovových površích. Na železný materiál se dále osvědčily polysiloxanové směsi. Povrch betonu (např. na přelivech nebo pilířích) lze opatřit polyetylénem, epoxidovou pryskyřicí nebo kaučukem.

Velmi úspěšné bylo použití sklolaminátu k výrobě česlí, jak to navrhl Holata [5]. Slo o dnový vodárenský odběr z horského toku (Hajni potok v Jizerských horách) typu na obr. 3.5. Skelný laminát má některé výhody i jako konstrukční materiál, a to:

- snadnou tvarovatelnost příčného



Obr. 3.5 Dnyový odběr se sklolamínatovými česlemi (schématický půdorys)

profilu při nižší prachnosti a úspore energie při tvarování,

- vyšší koeficient využití materiálu (u oceli činí 0,5 - 0,6, u skelného laminátu 0,9 - 0,95),
- vysokou odolnost proti korozii,
- odolnost proti dynamickému namáhání.

- nenamrzavost při nízké tepelné vodivosti a hladkém povrchu.

Odběr fungoval až při teplotách  $-20^{\circ}\text{C}$ . Přesto nebyl za téměř 11 let nikdy vyřazen z provozu. Bylo poškozeno jen několik česlicových tyčí, které se snadno vyměnily.

Učinným a lze říci tradičním opatřením proti nepříznivým účinkům zimního provozu je ohřev konstrukcí. Ohřev česlí má zabránit jejich ucpání ledem tím, že zabrání tvorbě namrzání ledových krystalů na jejich povrch. Nejde počítat s tím, že by se ohřevem mohl rozehřívat již vytvořený nebo přinesený a zachycený led.

Ohřev se může provádět:

- olejem nebo vodou ohřátými na určitou teplotu,
- teplým vzduchem,
- elektrickými topnými tělesky uloženými např. v dutých česlicových tyčích,
- elektrickým proudem procházejícím přímo česlicovými tyčemi.

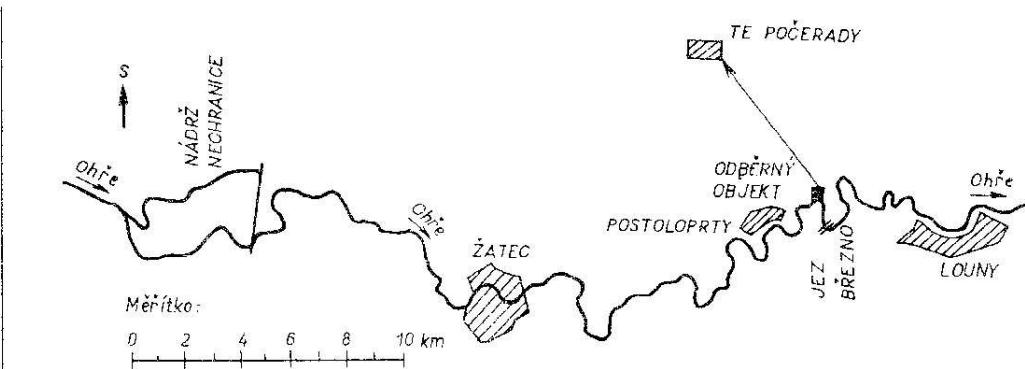
Poslední ze způsobů se hojně využívá, neboť je úsporný, konstrukčně jednoduchý a nepotřebuje obsluhu. Základním požadavkem je, aby všechny části povrchu česlí měly teplotu nad  $0^{\circ}\text{C}$ . Zatím většinou nejrozšířenější je tzv. rovnometrný ohřev. Postup výpočtu potřebného příkonu elektrické energie k ohřevu podle [19] se uvádí v příloze B.2.

Jestliže se v toku vyskytuje ledová kaše nebo ledová tříšť, vznikají zpravidla problémy u odběru z volné řeky nebo z mělké jezové zdrže. Nejvhodnější je umístit odběr na začátek oblouku na vypuklém břehu (kde se ještě neukládají téžké splaveniny sunuté po dně koryta). Před odběrem ze vzduté vody je vhodné snížit průtočnou rychlosť pod  $v = 1 \text{ ms}^{-1}$ . Při podkročení této rychlosti ledová kaše nebo ledová tříšť vyplouvá k hladině a clonou lze její průtok na hladině usměrnit mimo odběrný objekt (vtokový otvor).

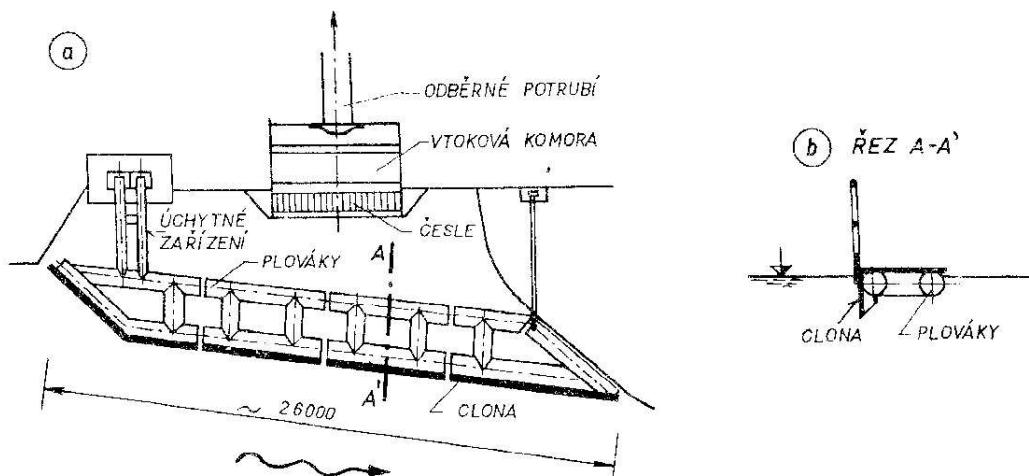
Podle tohoto návrhu provedený odběrný objekt s plovoucí clonou se za provozu osvědčil. I v tomto případě byl však současně navržen a proveden elektrický ohřev česlí.

Za příklad může posloužit řešení ochrany důležitého odběrného objektu pro chladicí vodu na tepelnou elektrárnu Počerady z jezové zdrže Březno na Ohři (situace na obr. 3.6, příčný řez clonou k zachycování a usměrňování plovoucí ledové kaše na obr. 3.7).

Tento důležitý odběrný objekt, který zajišťuje přítok vody k čerpací stanici chladicího systému pro tepelnou elektrárnu Počerady s instalovaným výkonem  $6 \times 200 \text{ MW}$ , se ukázal v lednu roku 1985 jako nespolehlivý. Vtokové otvory byly ucpány ledem tak, že přítoku vody bylo prakticky zabráněno.

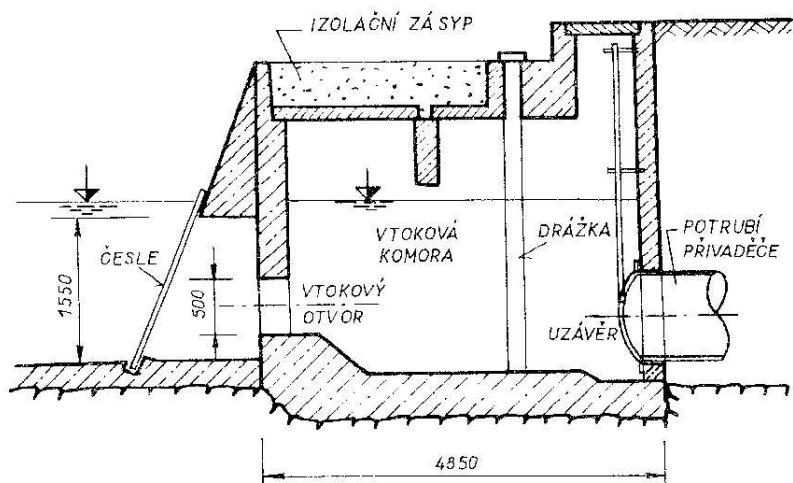


Obr. 3.6 Schéma umístění odběrného objektu na TE Počerady



Obr. 3.7 Schéma plovoucí zachytne stěny u odběrného objektu

Nesnadná byla správná diagnóza poruchy. Mohlo jít buď o ucpání česlí nebo přímo malých vtokových otvorů do jímky odběrného objektu, jehož schématický příčný řez je na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Schéma odběrného objektu na Ohři pro TE Počerady

V úseku jezové zdrže Březno na Ohři se už v minulosti opakovaně vyskytovaly ledové nápěchy (za chodu a zachytávání ledové kaše, jejíž tvorba je pro Ohři typická). V tomto případě byla však nejpravděpodobnější příčinou poruchy ledová zátka v poměrně podmízenzovaných vtokových otvorech s možností namrzání ledu na jejich betonové stěny. Mohlo jít o stržený povrchový led, ale také o hlubinný led, který se vytváří v přechlazeném vodním prostředí na konstrukcích (viz odst. 3.2).

Ke zvýšení spolehlivosti funkce odběrného objektu v zimních podmínkách se navrhla a z části už také realizovala kombinace technických a provozních opatření, která měla za úkol :

- zmenšení přístupu ledové kaše k česlim vtokového objektu,
- omezení namrzání česlí,
- omezení zamrznutí vtokových otvorů.

Pro zmenšení přístupu ledové kaše k česlim se využilo existující plovoucí ponofené clony, jejíž funkce byla zajištěna v případech s nepříliš tlustým kobercem ledové kaše na hladině. Pro zvýšení spolehlivosti funkce clony se navrhlo její prodloužení pod hladinu z nedostatečných 0,5 na 0,8 až 0,9 m (viz obr. 3.7b). provedlo se ze dřeva, což bylo levné, snadno proveditelné a provozně výhodné, neboť dřevo má poměrně nízkou omrzavost. Užití dřeva také přispělo ke stabilitě plovoucí stěny.

Proti namrzání česlí se vážilo mezi:

- přidáváním teplé, popř. slané vody před česle,
- použitím méně omrzavých materiálů pro česle (česlicové tyče) a
- přímým ohřevem česlí.

Česle je jistě možné v zimním období také odstranit nebo zvětšit svělost mezi česlicovými tyčemi. Možnost vniknutí větších kusů ledu nebo jiných plovoucích předmětů do toku s malými vtokovými otvory by však snížilo spolehlivost objektu jiným způsobem.

Přidání slané vody, které by snížilo bod mrznutí vody, se vzhledem k požadavkům na určitou kvalitu vody vyloučilo. Přidání teplé vody by podle orientačního propočtu bylo nesmírně energeticky náročné. Odhadlo se, že k ohřátí odebíraného průtoku  $1,2 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$  pouze o desetinu stupně Celsia by bylo třeba příkonu kolem 500 kW.

Použití méně namrzavých materiálů na česle (potažení česlicových tyčí) by sice nebylo příliš nákladné, ale jejich aplikací se namrzavost pouze sníží, ale namrzání u důležitého odběrného objektu zcela nevylohoučí.

Proto se jako nejschůdnější a poměrně ekonomické opatření jevil ohřev česlí a ohřev stěn vtokových otvorů. Plné česlicové tyče, které tu byly použity, se ohřívají elektrickým proudem, který jimi prochází. Výpočtem se zjistil nutný příkon pro ohřev česlí jen asi 20 kW, a to i za předpokladu, že by musely krýt tepelné ztráty, vznikající ochlazováním ne zcela ponofených česlic za mrazivého počasí ze vzduchu. Opatření bylo provozně i konstrukčně jednoduché, bezpečné a spolehlivé.

K ochraně proti zamrznutí vtokových otvorů (na obr. 3.8) hlubinným ledem se navrhlo opláštění horní hrany otvorů vyhřívaným ocelovým plechem, v příčném řezu ve tvaru U-profilu, těsně přiloženým k betonu. K zabránění nežádoucích tepelných ztrát při ohřevu z plechu směrem k betonu se na betonový líc měl provést izolační nátěr.

Nutný příkon k ohřevu celého opláštění, při němž zcela postačí udržet v nejvzdálenějším místě od zdroje teplotu  $+0,01^\circ\text{C}$  i za nejnižšího možného

přechlazení vody proudící otvorem  $-0,1^{\circ}\text{C}$ , byl podle orientačního výpočtu pouhé 2 kW.

Velmi účinným opatřením ke zvýšení spolehlivosti však byly dohodnuté účelné manipulace s vodou při odtoku z výše položené nádrže Nechranice, které příznivě ovlivní úsek toku teplotně (vypouštěním teplejší vody z hlubších vrstev nádrže) i hydraulicky (možnou změnou průlezové rychlosti vodního proudu tak, aby nedošlo ke strhávání ledu do vtokového otvoru, k tvorbě ledového nápáchu apod.).

Je tudiž vhodné kombinovat opatření provozní a technická, což vede při hospodárnosti (malé ekonomické náročnosti na ochranu) k efektivnímu zvýšení spolehlivosti.

První návrh vtokového odběrného objektu pro chlazení jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice z nádrže Drahovce na Váhu nedostatečně přihlížel k podmínkám zimního provozu a po poruše musel být vybudován nový odběrný objekt, který je schopen zajistit odběr s požadovanou spolehlivostí.

Odběr vody pro jadernou elektrárnu byl až do roku 1982 řešen třemi způsoby [3] a považoval se za velmi bezpečný:

- 1) Odběrem vody poblíž vtoku do derivačního kanálu Drahovce-Madunice na Váhu za hrubými česlemi na vtoku do kanálu),
- 2) odběrem z dělicího pilíře mezi jezem Drahovce a vtokem do derivačního kanálu Drahovce-Madunice a
- 3) náhradním odběrem z potoka Dubová.

V zimním období 1983/1983 byl odběrný objekt z derivačního kanálu ucpán ledem při jeho náhlém odchodu. Druhý vtokový otvor z dělicího pilíře nebylo možné zapojit, neboť uzávěr zamrzl v uzavřené poloze. Ani náhradní odběr z potoka Dubová se nedal použít pro špatnou kvalitu vody. Po 8 hodinách se podařilo potápěčům uvolnit první z odběrů, když z něj odstranili nečistoty ucpávající jemné česle, spojené ledem. Tím se odvrátily nedozírné škody v jaderné elektrárně a nepříznivé mimoekonomické důsledky.

Příčinou bylo nedostatečné řešení spolehlivosti odběru, které ani nepočítalo např. s možností ručního čištění česlí, s možností rozmrázování uzávěru druhého odběru a s kontrolou jeho stálé pohyblivosti. Bylo třeba navrhнуть nový odběrný objekt o vysoké spolehlivosti, odpovídající významu odběru, v němž bylo vhodné použít dvou násosek. Zvýšení spolehlivosti odběrného objektu si vyžádalo značné náklady.

Součástí odběrných objektů jsou i uzávěry. Nestačí bezpečný a spolehlivý návrh konstrukce a umístění odběrného objektu, když není zajištěna provozuschopnost uzávěrů odběrných zařízení za mrazu. Podobně jsou i provozní problémy uzávěrů jezů a hrazených přelivů přehrad.

Udržení manipulační schopnosti uzávěrů v zimě patří k nejobtížnějším a nejzdodpovědnějším úkolům obsluhy. Manipulaci v zimě ohrožuje:

- přimrznutí pohyblivých částí uzávěru k pevným (nepohyblivým); zvláště je tím ohroženo těsnění,
- namrzání ledu na uzávěru nebo na hradici konstrukci, které ohrožuje pohyblivost uzávěru a působí přitížení, které statický vypočet nepředpokládal,
- zamrzání zařízení zajišťujících automatickou funkci (regulaci) uzávěru (kanálků, obtoku, popř. drážek).

Ochrana proti těmto nepříznivým důsledkům zimního režimu je opět správný návrh a vhodné umístění uzávěru a jeho ohřev.

Ohřev se navrhují občasné nebo stálý (v zimním období). K tomu se instalují trvalá ohřevná opatření, v nichž bývá nositelem tepla teply vzduch, popř. teplá kapalina (fridex, olej aj.). Toto médium proudí potrubím od čerpadla a ohříváče k ohřívaným místům, v nichž je potrubí uloženo přímo pod povrchem. Poměrně výhodný je olejový ohřev. Teplota oleje se totiž snadno přizpůsobuje proměnlivým podmírkám. Rychlosť oleje v potrubí má být alespoň  $2 \text{ ms}^{-1}$ . Použití takového zařízení s ohřevem pomocí oleje je však zpravidla nákladnější než zařízení s elektrickým ohřevem.

Elektrický ohřev, který se navrhují buď odporový nebo indukční, je nejčastějším používaným způsobem. Při odporovém ohřevu se užívá jednak topných těles, uložených v trubicích, jednak topných páseb.

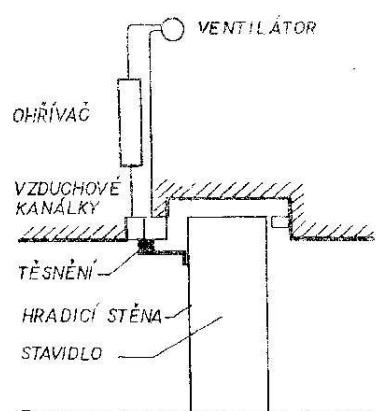
V topných trubicích se navrhují napětí až 220, popř. 380 V, v topných pásech pouze 6 až 50 V.

Údaje o potřebném elektrickém příkonu k tomuto způsobu ohřevu se často rozcházejí. Závisí totiž na konstrukčním uspořádání. Pro naše podmínky lze v průměru počítat s příkonem kolem 1 kW na  $\text{m}^2$  ohřívané plochy.

Indukční ohřev ocelových konstrukcí má proti odporovému jisté výhody. Nákladnější však může být induktor.

Poměrně velmi jednoduché a hospodárné je užití nositele tepla, který proudí mezi ohřívaným povrchem ocelové konstrukce (plechem) a druhým plechem, přiléhajícím přes izolaci k betonu. Příklad vyhřívání bočního štítu, na který dosedá u stavidlového uzávěru těsnění, je na obr. 3.9. Nositelem tepla je vhodná nemrznoucí kapalina, např. fridex. K chodu tohoto způsobu ohřevu se vystačí s příkonem 0,6 až 0,7 kW na  $1 \text{ m}^2$  ohřívané plochy.

Kde nebylo zařízení pro ohřev instalováno při výstavbě (což by se u nově budovaných konstrukcí nemelo stát), použije se improvizovaných prostředků, např. koksových košů, páry nebo ohřátého vzduchu, infráčervených zářičů nebo přivádění teplé vody (z vodovodu, čerpáním teplejší vody z větrní hlcubky nebo jejím zvedáním vypouštěním sítlačeného vzduchu). Para je však nehospodárná pro její nízké měrné teplo - kolem  $1300 \text{ J m}^{-3}$ .



Obr. 3.9 Schéma ohřevu těsnění teplým vzduchem

Kromě přimrznutí pohyblivých částí konstrukcí k nepohyblivým je nebezpečí namrzání led na hradicí konstrukce uzávěrů. Přimrzlá ledová celina namáhá konstrukci statickým tlakem. Při změně výšky hladiny vzhledem k její úrovni, při niž ledová pokrývka přimrzla ke konstrukci, nastává namáhání ohybem. Proto se kolem lic hradicích těles uzávěrů zpravidla vytváří bezledý pás, který se udržuje bublinkováním (účinkem nucené cirkulace vody vypouštěním sítlačeného vzduchu do vody ke dnu).

Velké přitížení uzávěrů může znamenat leďová náraza (v našich podmínkách až do tloušťky vrstvy 0,3 m). Určitou míru namrzání je však možné připustit. Namrzlý led je totiž dobrým tepelným izolátorem.

Pro udržení dané (požadované) povrchové teploty uzávěru  $t_p$ , na kterém není přimrzlý led, je třeba přivod tepla

$$q_o = \alpha (t_p - t_o) \quad [\text{W m}^{-2}], \quad (3.11)$$

kde  $\alpha$  je součinitel přestupu tepla od povrchu uzávěru (konstrukce) ke vzduchu  
[Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>],

$t_p$  - teplota vzduchu [°C].

Je-li na ohřívaném povrchu namrzlý led, lze tento tepelný příkon vyjádřit výrazem [19]

$$q_1 = \alpha \frac{t_p - t_o}{1 + \frac{\alpha h_1}{\lambda_1}} \quad [Wm^{-2}], \quad (3.12)$$

kde  $h_1$  je tloušťka ledového povlaku [m],

$\lambda_1$  - tepelná vodivost ledu [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

Pomér  $\frac{\alpha h_1}{\lambda_1}$  je bezrozměrný a je znám pod názvem Biotovo číslo (Bi). Protože  $1+Bi > 1$ , může být příkon potřebný pro roztání již vytvořeného ledu  $q_1$  menší, než příkon  $q_o$  nutný pro udržení povrchu konstrukce bez ledu.

### 3.6 STATICKE A DYNAMICKE UČINKY LEDU NA KONSTRUKCE

Led se svými mechanickými vlastnostmi poměrně značně liší od jiných látek. Je to dán zejména různorodostí jeho struktury (tj. stavby, rozměrů, formy a orientace ledových krystalů) a textury (souhrnu vnějších příznaků, závislých na výskytu vzduchových bublin, vtroušenin a vmeštáků v ledu).

Za poměrně malou pružnou deformaci ledu při postupném a pomalém zatěžování následuje značná plastická deformace s dotvarováním.

K nejdůležitějším návrhovým veličinám patří meze pevnosti ledu v tlaku, tahu a za ohybu. Jejich hodnoty se v přirodě dosti obtížně zjišťují. Přesto jsou hodnoty z přírodních pozorování a měření nejcennější a nejvěrohodnější.

Pro představu uvedeme některé z nich:

Pevnosti v tlaku naměřené ruskými autory za teplot blízkých 0°C [19] na vzorcích fičního ledu, popř. ledu z hladiny nádrže, dosahovaly při namáhání kolmo na osu ledových krystalů hodnot 1,0 až 3,9 MPa, při namáhání rovnoběžně s osou krystalů hodnot 1,3 až 1,5 krát vyšších. S poklesem teploty ledu mezi jeho pevností v tlaku stoupá.

Pevnost ledu za ohybu je při některých účincích ledu na konstrukce rozdoující. Zkoumala se zpravidla zatěžováním konzol vyříznutých v ledové celině ("kláves"). V závislosti na způsobu a době zatěžování ledu a na jeho "stáří" se u měření provedených Votrubou pohybovala v rozmezí od 0,23 do 1,79 MPa.

Pevnost ledu v tahu je nižší než v tlaku: Podle směru namáhání vzhledem k ose krystalů a podle teploty ledu se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 1,4 MPa [19]. Pro narušený starý led v jarním období uvádí Koržavin maximalní hodnotu meze pevnosti ledu v ohybu jen 0,4 MPa [19].

Na způsob a rozsah namáhání konstrukce ledem má výrazný vliv také přimrznutí ledu ke konstrukci. Při výpočtu pak záleží na tom, která z hodnot je menší: zda meze pevnosti ledu nebo pevnost spojení s konstrukcí. Podle toho dochází buď k porušení styku (spojení) s konstrukcí, popř. porušení konstrukce.

Led působí na konstrukce staticky nebo dynamicky. Příčinou statického působení může být rozpinání ledu při stoupení teploty nebo změny polohy ledové celiny při kolisání vodní hladiny. Mezní hodnota namáhání konstrukce ledem je dána mezi pevnosti ledu v tlaku, smyku nebo za ohybu.

Skutečný účinek ledu na konstrukci bývá však nižší, protože se uplatní i plastické vlastnosti ledu, vliv trhlin ledové pokryvky, její textura apod.

Statické působení ledu na konstrukci při rozpinání ledu za vzniku jeho teploty je dáno poměrně velkou délkovou roztažností ledu, jejíž charakteristiky uvádíme v tab. 3.1.

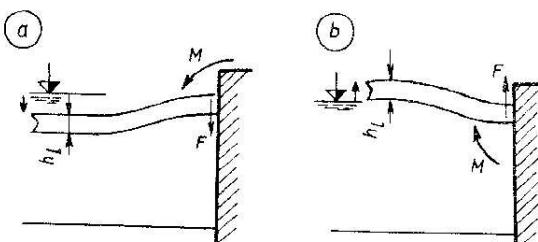
Tab. 3.1 Délková roztažnost ledu při oteplování

Teplofa ledu $t_1$ [°C]	0	-10	-20	-30
Délková roztažnost $\alpha$ [ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ]	54	52,2	50,4	48,4

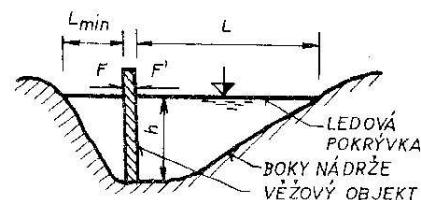
Znamená to, že ledový pás o délce 100 m se při oteplení o  $10^\circ\text{C}$  roztahne přibližně o 5 cm.

Vypočet statického tlaku ledu při změně teploty se uvádí např. v [1]. Z měření a pozorování na našich vodních nádržích (v nadmořských výškách hladiny v rozmezí většinou 300 do 750 m n.m.) bývá návrhová maximální tloušťka ledové pokryvky, kterou je třeba použít pro tyto výpočty (se zabezpečenosí  $p = 1\%$ )  $h_1 = 0,7 \text{ m}$ . Pro dostatečně nízkou počáteční teplotu vzduchu před oteplováním  $t_0 = -25^\circ\text{C}$  a gradient vzniku teploty vzduchu  $\vartheta_v = 2 \text{ K}\text{h}^{-1}$  vyjde po 7-hodinovém oteplování návrhová hodnota tlakové síly od ledu pro naše podmínky kolem  $F = 120 \text{ kNm}^{-1}$ .

Přimrzlá ledová celina k objektu, která nemůže při poklesu nebo stoupnutí hladiny sledovat její pohyb, namáhá objekt svislou silou a ohybovým momentem (obr. 3.10).

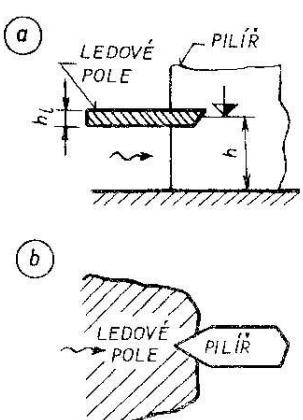


Obr. 3.10 Zatížení objektu ledovou pokryvkou přimrzlou k objektu při změně hladiny  
a) pokles, b) vzestup hladiny



Obr. 3.11 Věžový objekt namáhaný vodorovnou silou od ledu

Vodorovné síly od tlaku ledu jsou nebezpečné pro věžové objekty v nádržích. Při teplotních změnách může dojít v důsledku těchto sil k porušení objektu, jak se to stalo např. v roce 1963 na nádrži Koryčany (na Stupávce v povodí Moravy). Tlak ledu je třeba zkoumat ve vztahu ke kritické síle na mezi vybočení ledové celiny z roviny. Záleží přitom na poměru tloušťky ledu k šířce, popř. průměru objektu, na poměru této délky ke vzdálenosti od přehrady ne-



Obr. 3.12 Prořezávání ledového pole pilířem

bo břehů a na mechanických vlastnostech ledu (obr. 3.11).

Dynamický účinek ledu plynou z jeho kinetické energie, která se při styku s konstrukcí spotřebuje hlavně na rozrušení čela plovoucího narážejícího ledového útvaru a přitom konstrukci zatěžuje. Dynamickým účinkem může působit ledové pole, ledová krajina, vytvořená ledová zácpa i nápěch, za nimiž dochází ke vzdušení hladiny a tedy i ke zvýšení zatížení hydrostatickým tlakem. Účinek se projevuje nárazem, tlakem nebo třením při pohybu ledových zácp nebo nápěch, (tzv. dřenice ledu - viz kap. 3.1).

Na obr. 3.12 jsou ve schématu vyznačeny časté případy namáhání pilíře (např. mostního) ledovým polem, které je pilířem prořezáváno. Namáhání pilíře závisí na tvaru zhlaví, mechanických vlastnostech ledu, tloušťce ledové pokryvky a dalších parametrech.

### 3.7 ZIMNÍ PROVOZ VODNÍCH CEST

V našich podmínkách mohou ledové jevy vodní dopravu ohrozit až znemožnit. Aby se plavební období prodloužilo i do zimního období, vyžaduje to vesměs náročná technická a organizační opatření. Celoroční plavba bez dlouhé zimní plavební přestávky se stala pro naši vodní dopravu žádoucí v 70. letech zejména v souvislosti se zasobením tepelné elektrárny Chvaletice uhlím po vodě.

Plavbu ohrožuje zamrzání toku, narůstání ledové pokryvky, chod ledu, tvorba ledových nápěch a v závěru zimního období odchod ledu. Objekty na vodní cestě i plavidla trpí statickými i dynamickými účinky ledu. Opatření proti těmto obtížím tkví v udržení vodní cesty, popř. plavební dráhy, bez zámrzu. Vytvořená ledová pokryvka se pak rozrušuje buď tepelně, manipulací na vodních dílech nebo technickými prostředky, někdy také uměle zesíleným pohlcováním slunečního záření, rozrušováním ledové pokryvky ledoborci nebo trhavinami apod.

Výskyt ledových jevů a procesů na vodní cestě závisí na způsobu jejího splavnění. Na přrozeně splavných a regulovaných tocích je zimní režim blízký přirozenému, na kanalizovaných tocích a v průplavech je ovlivněn zpravidla malými rychlosťmi vody, výrazným a intenzivním procesem zamrzání.

V určité meteorologické, hydrologické a ledotermické situaci bývá nutné plavbu ukončit. Matematický model a z něho odvozený provozní předpis, který určí okamžik zastavení plavby, navrhli a popsali Trejtnar a Sámalová [20].

Teoreticko-empirický model vychází z téze, že ze všech činitelů, které ovlivňují proces výměny tepla mezi vodním proudem a okolním prostředím, mají rozhodující vliv ty, jež závisí na teplotě vzduchu. Proto se též intenzita ledových jevů často uvádí do vztahu se sumou záporných teplot vzduchu  $\Sigma t_o$ , obvykle průměrných denních.

Model byl odvozen pro labskou vodní cestu. Na ní bývá při nástupu mrazivého období teplota vody zpravidla v rozmezí  $+0,5$  až  $+2,7^\circ\text{C}$ . Poté však rychle klesá. Při průměrné denní teplotě vzduchu  $t_o \approx -3^\circ\text{C}$  zpravidla neklesá teplota vody  $t_v$  pod nulu a tak nevznikají ledové jevy.

Ze zhodnocení několika zimních období získali Trejtnar a Šámalová empirické vztahy:

$$1. Y_L = 99 X^{-0.576},$$
$$2. X_L = 2,913,55 Y^{-1.736},$$

v nichž  $X$  - značí počet dnů zbyvajících do nutného zastavení plavby pro intenzivní ledové jevy,

$Y$  - součet průměrných denních záporných teplot vzduchu nižších než  $-3^\circ C [^\circ C]$ ,

$X_L$  - počet dnů, po němž dojde k intenzivním ledovým jevům znemožňujícím plavbu a

$Y_L$  - nutný minimální součet příslušných záporných teplot vzduchu (v absolutní hodnotě) pro vznik intenzivních ledových jevů.

Prodlužování plavebního období se zajišťuje:

- preventivními opatřenimi,
- operativními opatřenimi a
- odstraňováním ledu z plavební dráhy.

Preventivní opatření spočívají v navrhování vhodných konstrukcí jezových uzávěrů, které se nemusí s předstihem v zimním období vyhrazovat a umožňují spolehlivou manipulaci i za silných mrazů a v navrhování vhodných typů vrat plavebních komor. K tomu jsou nejhodnější poklopová vrata, která mj. umožňují propouštění tzv. nezámrzajících průtoků.

Operativní opatření spočívají v průběžném odstraňování ledu, ledových ker a ledové tříště z plavební dráhy a v ochraně plavebních objektů (plavebních komor a jejich příslušenství).

Vynucená cirkulace vody v příčném profilu toku, při níž se dostává k hladině teplejší voda ode dna (zejména u hlubšího toku, jezové zdrže nebo nádrže), stlačeným vzduchem (tzv. bublinkováním), má význam v kratších úsecích vodních cest, v přístavech a při ochraně objektů a plaveních zařízení před zamrznutím a v jejich důsledku před nepříznivými statickými účinky ledu.

Po odstranění ledové pokryvky z plavební dráhy se udrží hladina bez ledu jen za teplot nad nulou. Na konci zimního období se ledová pokryvka rozrušuje a vodní cesta se očišťuje od ledu. Aby bylo rozrušování účinné a současně hospodárné (bez velkého vynaložení energie, tepelné nebo mechanické), je třeba vhodně posoudit počátek rozrušování, aby byla pevnost ledu již dostatečně nízká. Ledovou pokryvku je třeba odstraňovat koordinovaně, směrem proti toku, aby uvolněný led mohl volně odplouvat.

Otázkou vhodného počátku rozrušování ledové pokryvky na kanalizované vodní cestě se zabýval Černý [2]. Na rychlosť uvolňovacích prací s použitím remorkéru mají rozhodující vliv průtok v řece a aktuální mechanické vlastnosti ledové pokryvky. Černý navrhl pohotově zkoušet tvrdost ledové pokryvky Brinellovou zkouškou tvrdosti (běžně užívanou ve stavitelství), která spočívá ve vtlačování kuličky do povrchu zkoušeného tělesa. Z hloubky vtlačení se pak usuzuje na tvrdost tělesa.

Teorií jarního oteplování pevnosti ledové pokryvky se zabýval Votruba [18]. Odhad vhodného okamžiku uvolňování ledové pokryvky není jen otázkou bezpečnosti odchodu ledu, ale také hospodárnosti vynaložených prostředků na ně.

Na spolehlivou funkci plavebních zařízení v zimě má vliv i jejich dispozice. Např. umístění plavební komory spolu s vodní elektrárnou na konkávním břehu oblouku a jezu na konvexním je nevhodné pro odvádění velkých vod i pro ledochod.

Spolehlivost vodní cesty výrazně ovlivňuje na kanalizovaných vodních cestách typ vrat plavebních komor. U vzpěrných a poklopových vrat je třeba věnovat pozornost částečně jejich konstrukce u hladiny a nad ní. Pohybovací mechanismy vrat, např. hydromotory ve výklencích plavebních komor, často střídavě pod a nad hladinou, vyžadují trvalou kontrolu a zpravidla permanentní vyhřívání. Nejlepší je jejich trvalé umístění pod vodou.

### 3.8 ZIMNÍ PROVOZ HYDROTECHNICKÝCH PRIVÁDĚCŮ

Hydrotechnické přiváděče jsou často za zimního provozu velmi exponovanými objekty, které rozhodují o spolehlivosti vodních děl, systémů zásobování vodou apod.

Klimatické, resp. meteorologické podmínky v zimním období ovlivňují spolehlivý provoz otevřených i uzavřených přiváděců, zejména potrubí uložených na terénu.

U otevřených přiváděců (umělých vodních koryt) záleží na tom, zda se v nich vyskytuje pouze povrchový led nebo zda v nich může dojít k vytvoření vnitrovodního ledu a poté ledových nápechů, které podstatně zmenšují průtočný profil a působí vzdutí vody. Některé přiváděče jsou teplotně výrazně ovlivněny (vypouštěním teplé vody), takže jejich zimní provoz pak může být bezproblematický.

Nejnižší provozní spolehlivost mají přiváděče s vnitrovodním ledem. Tvorbě vnitrovodního ledu lze zabránit vytvořením ledové pokryvky, která se vytvoří jen při nízkých průlezových rychlostech vody (asi do  $0,23 \text{ ms}^{-1}$ , viz odst. 3.1). Ledová pokryvka by se neměla za průtoku pod ledem náhle rozlámát, neboť ledové kry a úlomky ledu společně s tvorící se ledovou kaší mohou způsobit nebezpečné ledové zácpky kombinované s nápechy. K rozrušení ledové pokryvky dojde tehdy, když dynamická síla vodního proudu pod ledem překročí odpor ledové pokryvky proti porušení. Ten závisí na kvalitě ledu a je ovlivňován meteorologickými podmínkami. Záleží pochopitelně i na tloušťce ledové pokryvky.

U přiváděců s vnitrovodním ledem se musí věnovat pozornost návrhu trasy, podélného a příčného profilu, není na něm vhodné budovat objekty, které koryto zužují nebo jinak brání volnému pruchodu ledu (např. shybky). Dlouhé přiváděče tohoto typu je potřebné vybavit bezpečnostními přelivy, které zabrání nad vytvořenými ledovými nápechům překročení maximální přípustné hladiny a vylití z koryta, popř. poškození hrázi přiváděče v násypu apod. Někdy se navrhojí i bezpečnostní přelivy k odvedení ledu, zejména ledové kaše, z koryta.

Při nutné přestávce v provozu přiváděče je vhodné zabránit promrzání dna svahu koryta, které se nepříznivě projeví při jeho znovunapuštění.

Poznámka: Velké zkušenosti ze zimního provozu otevřených přiváděců v náročných provozních a meteorologických podmínkách se získaly za provozu přiváděče průmyslové vody z Ohře do Bíliny a Podkrušnohorského přiváděče od 60. let. Řešení problémů jejich zimního režimu podstatně ovlivnilo i zájem o výzkum této problematiky v Čechách. [8, 17].

Castým případem jsou trubní tlakové přiváděče, uložené na terénu. Užívají se hlavně na vysokotlakých vodních elektrárnách, popř. u přečerpávacích vodních elektráren. Učinkem mrazu a větru vznika na vnitřním povrchu potrubí led. Při vyprázdnění přiváděče může dojít ke zmrznutí prossakující vody do potrubí v důsledku netěsnosti uzávěrů na jeho vtoku. Vytvořený led může pak významně zatěžovat konstrukci a vyvodit statické i dynamické namáhání (při ná-

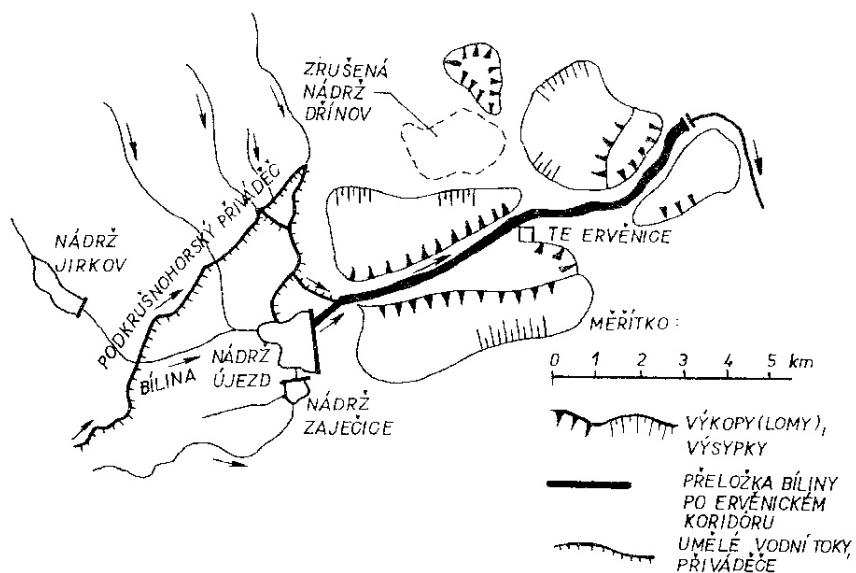
hlém odtržení ledu v potrubí, k němuž dojde zejména při oteplení potrubí (např. sluncem).

Poznámka: Nedostatečným respektováním statického popř. dynamického namáhání trubních přiváděců a na ně navazujících objektů (např. vtoků vodních elektráren) dochází k poruchám, popř. haváriím. Jejich předcházení vede k velkým dodatečným nákladům. Např. na přiváděci k vodní elektrárně Shawinigan (Kanada) se musela provést izolační obezdívka dlouhého ocelového potrubí tlakového přiváděče z lehkých prefabrikátů, na vodní elektrárnu Citachevi (Gruzie) se musel dodatečně zaizolovat mohutný rozdělovací kus před vodní elektrárnou.

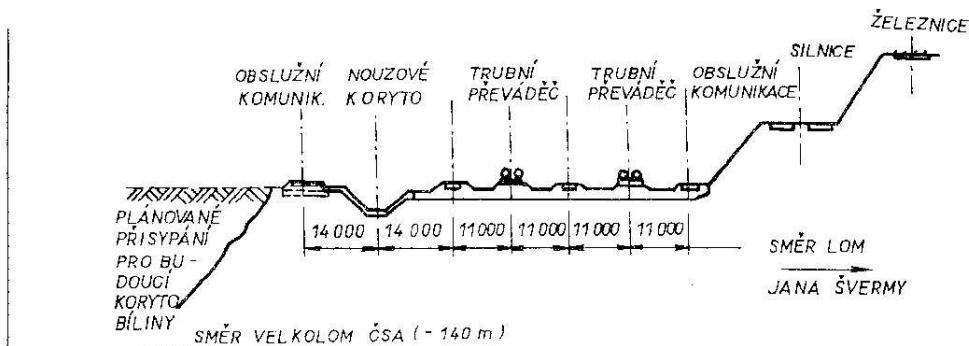
Do ocelového trubního přiváděče vodní elektrárny Gjumuš (Arménie) vnikala při odstavce netěsnosti shora voda, která na vnitřním povrchu potrubí za silných mrazů a ochlazování potrubí z vnějšku větrem rychle namrzala. Bylo rozhodnuto odstranit vytvořený led elektrickým odporovým ohřevem z vnějšího pláště potrubí a přiváděním teplé vody dovnitř. Při neopatrném ohřevu se v potrubí uvolnila před tím vytvořená mohutná ledová zátka, která sjela do dolní části potrubí; dynamickým účinkem se jeho část odtrhla od kotevních bloků a potrubí vybočilo. Havarovaný tlakový přiváděc bylo nutno zcela zrekonstruovat. Na vodním díle Albule (Švýcarsko) došlo k podobné havárii.

V Čechách byly některé z těchto havárií poučením pro zajištění přiváděče z horní akumulační nádrže na přečerpávací vodní elektrárnu Štěchovice už v roce 1947 podle návrhu L. Votruby. Díky předvídaní možných důsledků a provozními úpravami i volbou způsobu ohřevu potrubí k odstranění ledu se zabránilo možným poruchám na stavebních objektech i technologickém zařízení.

Zcela ojedinělým problémem zajištění bezpečné a spolehlivé funkce přiváděče mj. i za náročných podmínek zimního režimu byl návrh a provoz přeložky řeky Bíliny přes tzv. Ervěnický koridor v Severočeské hnědouhelné pánvi. Situační schéma této přeložky je na obr. 3.13 a příčný řez télesem kodridoru podle stavu z roku 1987 na obr. 3.14.



Obr. 3.13 Situační schéma přeložky Bíliny po Ervěnickém koridoru



Obr. 3.14 Schématický příčný řez Ervenickým koridorem (stav z r. 1987)

Bílina se přes násypy mezi uhlavními lomy a výsypkami převádí čtyřmi soubežnými potrubími o průměru 1200 mm, dlouhými asi 3 100 m, s proměnlivým podélným sklonem od 6 do 38 %. Kapacita jednoho potrubí je  $3,8 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$  v tlakovém režimu. Pro případ havárie potrubí bylo na okraji násypu zřízeno provizorní lichoběžníkové koryto s dnem a svahy opevněnými kamenným pohodem, které má kapacitu  $8 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ .

Při návrhu přeložky se počítalo s možnými nepříznivými projevy zimního režimu, zejména s nebezpečím zacpání potrubí ledem. Před vtokem do trubní přeložky na koridoru je nádrž Újezd. Mezi ní a vtokem do potrubí je otevřené koryto dlouhé asi 2 km.

Za obvyklých zimních průtoků bylo možné očekávat v nádrži Újezd vytvoření ledové pokrývky až do tloušťky 0,7 m. Do nádrže však může vnikat ledová tříšť a ledová kaše z Podkrušnohorského přiváděče, který je do ní zaústěn.

Na začátku otevřeného koryta pod nádrží Újezd, která je poměrně mělká, s malou možností akumulace tepelné energie ve vodě, se za silnějších mrazů očekávala teplota vody blízká nule. Za vysokých průtočných rychlostí (0,7 až  $1 \text{ ms}^{-1}$ ) bylo pak třeba počítat s tvorbou vnitrovodního ledu a s průtokem ledové kaše a s potencionální tvorbou ledových nápěchů.

Na vtokovém objektu je nejnebezpečnější omrzání česlí a hromadění ledu před nimi. Ledová kaše popř. i ledová tříšť mohou však vnikat i do potrubí, na něž zvenku působí mráz a ochlazuje je v extrémních meteorologických podmínkách i silný vítr. Led by mohl namrzat i na vnitřním povrchu potrubí. Při odtávání namrzlého sněhu a ledu od stěn při vnějším oteplení by bylo obtížné zajistit bezpečný transport ledu pod přeložku. Těžko by se za provozu bránilo i hromadění ledu v potrubí při možných změnách podélného sklonu za sedání vysokého náspu a za výtokem z něj, zvláště za nízkých průtoků v přeložce.

Aby se předešlo těmto možným nepříznivým projevům zimního režimu přeložky, jejíž havárie by znamenala velké ekonomické i mimoekonomické škody (zatopením lomů), byl zpracován zimní dispečerský program [7], platný pro všechny meteorologické situace a za předpokladu dodávky různého množství teplé vody do potrubí; program zahrnuje i řízení průtokového režimu v zimě v celém Přiváděči průmyslové vody od čerpací stanice v Rašovicích na Ohři až pod nádrž Újezd. Rídící veličinou dispečerského programu byla potřebná dodávka teplé vody z TE Prunéřov do Přiváděče průmyslové vody, která by zajistila za dané meteorologické situace nenulovou teplotu vody na vtoku do trubní přeložky.

Úspěšné ověření dispečerského programu v zimních obdobích 1984/85 a 1985/86 spolu s dalšími dobrými zkušenostmi z provozu v nasledujících zimních

obdobích naznačují, že se problematice konstrukčně i porovzně náročné a významné přeložky věnovala z hlediska zimního režimu patřičná pozornost.

#### LITERATURA

- [1] Broža, V. - Satrapa, L.: Hydrotechnické stavby. Skriptum, Ediční středisko CVUT, Praha 1992, 169 s.
- [2] Černý, J.: Ekonomika uvolňovacích prací na Labské vodní cestě. Sb. 4. symposia Ledový a teplotní režim toků z nádrží. ČSVTS, Povodí Labe, Hradec Králové 1986, s. 135-150.
- [3] Gotlib, Ja, L.: Led v vodochraniščach i nižních bjezech GES. Leningrad, Gidrometeoizdat, Leningrad 1983, 199 s.
- [4] Grzés, M.: Zatory i powodzie zatorowe na dolnej Wis'le. Mechanizmy i warunki. Polska Akademia Nauk, Warszawa 1991, 184 s.
- [5] Holata, M.: Dnové česlicové odběry vody. Vodní hospodářství, řada A, č. 1, 1978, s. 11-20.
- [6] Jambor, A.: Problémy v dodávce povrchové vody pre Atómové elektrárne Jasl. Bohunice vo februári 1983. Sb. Ledový a teplotní režim nádrží a toků - 3. symposium CSTVS, Ústí n.L. 1984, s. 250-254.
- [7] Král, P.: Provoz trubní přeložky Bíliny po Ervěnickém koridoru. Vodní hospodářství, řada A, 37, č. 18, 1987, s. 301-305.
- [8] Matoušek, V.: Teplotní a ledový režim vodních toků. SZN, Praha 1980, 408 s.
- [9] Matoušek, V.: Výměna tepla mezi vodním proudem a okolním prostředím. Vodohospodářský časopis, 29, 1981, 4.2, s.165-187.
- [10] Matoušek, V.: Zákonitosti zamrzání vodních toků a jezových zdrží. Vodohospodářský časopis, 30, 1982, č.2.
- [11] Matoušek, V.: Zimní režim toků a vodních cest. MLVHDZ ČR v SZN, Praha 1989, 282 s.
- [12] Matoušek, V.: Odchod ledů a ledové povodně na Berounce. Sb. 6. symposia Ledový a teplotní režim toků a nádrží. ČSVTS, Povodí Labe, Hradec Králové 1990, 17 s.
- [13] Matoušek, V.: Vývoj nápechů v nádrži Kadaňský stupeň. Sb.6. symposia Ledový a teplotní režim toků a nádrží. ČSVTS, Povodí Labe, Hradec Králové 1990, 24 s.
- [14] Matoušek, V. - Votruba, L. - Doležal, L. - Patera, A.: Definování a výklad pojmu v kryologii a ledotermice. VUV, účel. publikace č. 9, Praha 1984, 58 s.
- [15] Michel, B.: Properties and processes of river and lake ice. Proc. of the Banff Symposia "The role of snow and ice in hydrology", UNESCO - VMO - IAHS, Banff 1972, s. 454-481.
- [16] Piotrovic, V.V.: Metodika rasčeta maximal'noj tol'sčiny lda na vodochraniščach. Trudy CIP, vyp. 130, Gidrometeoizdat, Leningrad 1963.
- [17] Votruba, L.: Bezporuchový provoz otevřených přivaděčů v zimě. Vodní hospodářství, č. 9. 1963, s. 339-346.
- [18] Votruba,L.: Optimalizace rozrušování ledové pokryvky lámaním. Sb. 4. symposia Ledový a teplotní režim toků a nádrží. ČSVTS, Povodí Labe, Hradec Králové 1986, s. 90-95.
- [19] Votruba, L. - Patera, A.: Teplotní a zimní režim toků, nádrží a vodních děl. Academia. Praha 1983, 552 s.

- [20] Trejtnar, K. - Šámalová, Z.: Zimní režim na Labské vodní cestě - Předpověď ukončení plavby. Sb. 4. symposia Ledový a teplotní režim toků a nádrží. ČSVTS, Povodí Labe, Hradec Králové 1990, 22 s.
- [21] Zielin'ski, J.: Katastrofalna powódź zatorowa na Wis'le w rejonie Plocka w r.1982, jej przyczyny i s'rodki zapobiegajace. Sb. 6. sympozia Ledový a teplotní režim toků a nádrží. ČSVTS, Povodí Labe, Hradec Králové 1990, 9 s.

#### 4. OBSLUHA, ÚDRŽBA, OPRAVY, REKONSTRUKCE

Dobrý systém péče o technický stav vodního díla, zajišťující soustavně kvalifikovanou obsluhu všech zařízení, plánovitou kvalitní údržbu a včasné provádění oprav vyskytнуvých se závad, je základním prostředkem k zajištění jejich funkční spolehlivosti a bezpečnosti.

Náplň jednotlivých činností na vodním díle je usměrňována souborem pokynů a plánů, nejvýznamnější však je jejich uskutečňování, což vyžaduje příslušné finanční prostředky, pracovní kapacity (vlastní i smluvních dodavatelů), materiály, mechanismy atd.

Výkon obsluhy a údržby je usměrňován provozním řádem, který je vedle manipulačního řádu dalším základním dokumentem pro provoz vodních děl.

##### 4.1 PROVOZNÍ ŘÁD, PROVOZNÍ PŘEDPISY

Provozní řád (ON 73 6806) je souhrn předpisů, směrnic a pokynů pro obsluhu a údržbu všech zařízení vodního díla. Jeho součástí jsou provozní předpisy - tj. návody k obsluze jednotlivých strojních a elektrotechnických zařízení.

Zpracování provozního řádu zajišťuje správce vodního díla, který zároveň vyhlašuje jeho platnost s uvedením doby platnosti (ne více než 5 let do příští revize). Souvislost s manipulačním řádem je věcně zřejmá; při změně manipulačního řádu je nutno provést revizi provozního řádu. V provozním řádu jsou odkazy na jednotlivá ustanovení manipulačního řádu.

Při zpracování provozního řádu se vedle manipulačního řádu vychází z projektové dokumentace opravené podle skutečného provedení, a provozních předpisů pro strojní a elektrotechnické zařízení (zpracovávají dodavatelé těchto zařízení), výsledků prohlídek a zkoušek zařízení, z požadavků povodňové služby a z obecných požadavků CO, bezpečnosti práce, požární ochrany atd.

V souladu s citovanou oborovou normou se provozní řád člení do 10 kapitol, jedenáctou součástí jsou přílohy.

První tři kapitoly mají převážně formální charakter.

- A. Záhlaví provozního řádu.
- B. Úvodní ustanovení (platnost, zodpovědnost).
- C. Stručný popis vodního díla, popř. členění provozního řádu.

Obsahově nejvýznamnější jsou další části:

- D. Metodické pokyny pro provoz a údržbu jednotlivých částí vodního díla.

Musí být popsány všechny úkony spojené s obsluhou a údržbou jednotlivých konstrukcí a zařízení, jejich četnost, časový sled a podmínky provedení. Dále musí být do provozního řádu promítнутý úkony vyplývající z manipulačního řádu, a také kontrolní manipulace.

E. Sledování a hlášení vodních stavů a odběrů. Uvedou se místa pozorování a měření, četnost pravidelných i mimořádných měření, povinnost ohlašovat výsledky měření atd.

- F. Pozorování a měření.

Podrobnosti viz kap. 5.

- G. Provozní pokyny za různých průtoků

Kapitola obsahuje konkrétní směrnice pro provoz výpustných, odběrných a přelivných zařízení v závislosti na stavech hladiny, průtočnosti popř. i dalších okolnostech (zimní režim aj.).

- H. Ostatní provozní pokyny.

Jde např. o opatření při přerušení dodávky energie, při významných poruchách zařízení (např. čerpadel prosaklé vody), popř. při jiných neobvyklých situacích.

Závěrečné kapitoly provozního řádu zahrnují zásady koordinace, bezpečnostní předpisy atd.

J. Spolupráce mezi uživateli vodního díla a správcem.

K. Místní bezpečnostní předpisy.

Tu jde o zajištění bezpečnosti pracovníků obsluhy a údržby a také dalších pracovníků, kteří se pohybují v prostoru vodního díla, buď služebně nebo na základě zvláštního povolení.

Přílohy provozního řádu jsou z části obdobně jako u manipulačního řádu (kap. 2), a proto mohou být společné, další jsou specifické: schémata rozvodů elektroinstalací, vody, kanalizace, schémata technologického zařízení s vyznačením míst údržby, schémata využití montážních prostorů, tabulky prohlídek, údržby, pozorování a měření.

Další komplex příloh tvoří provozní předpisy.

Provozní předpisy obsahují:

- základní technické údaje, výkresy, schémata zařízení;
- návod k obsluze;
- možné závady, poruchy a návody k jejich odstranění;
- předpisy pro kontrolu, údržbu, revize, generální opravy;
- pokyny pro montáž a demontáž;
- předpisy pro mazání popř. další ošetřování;
- ostatní požadavky.

Rozsah provozních předpisů závisí na složitosti zařízení; k nejnáročnějším např. patří předpisy pro provoz vodní elektrárny (může být popř. provozována správcem vodního díla - nikoliv provozní organizací energetiky - jak je to např. u VD Nechranice).

#### 4.2 PROVOZNÍ ČINNOSTI

Při charakteristice náplně technických provozních činností se běžně setkáváme s pojmy: obsluha, údržba, opravy, celkové (generální) opravy, modernizace, rekonstrukce. Zatřídění konkrétních pracovních úkonů však není vždy jednoznačné. Příčin je několik. Některé činnosti provádějí určení pracovníci (např. pracovníci trvale působící na objektu nebo specializovaná provozní skupina) současně a pak rozlišování nemá praktický význam. Významnou úlohu tu mohou mít platné předpisy, způsob finančního zabezpečení popř. ekonomického hodnocení jednotlivých činností, nelze přehlížet ani konvenci v označování.

Např. obnova ochranného náteru se běžně chápe jako typický úkon údržby; přitom z hlediska náteru jako jistého prvku konstrukce se specifickou funkcí jde vlastně o opravu.

Údržba se tedy chápe jako pravidelná a trvalá péče, kterou se zajišťuje co nejpomalejší časový průběh fyzického opotřebení konstrukcí a zařízení resp. jejich částí, předchází se následkům tohoto opotřebení a odstraňuje se drobné závady.

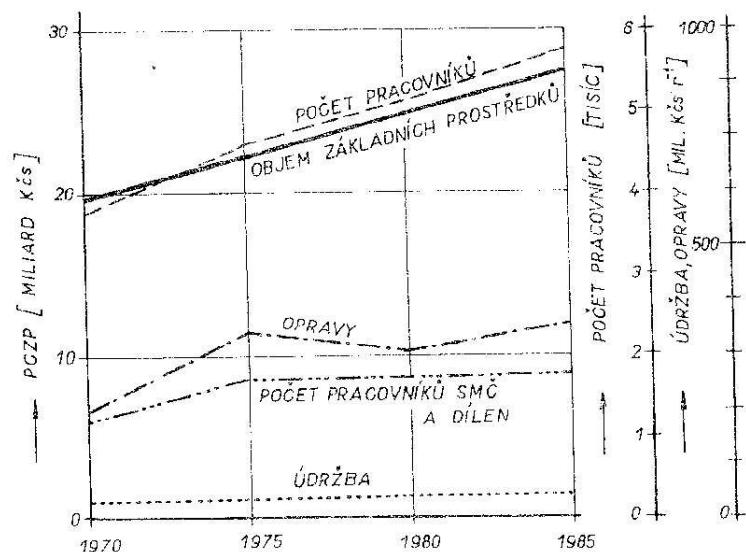
Opravy jsou činnosti, které slouží k odstranění fyzického opotřebení, k obnovení technických vlastností objektů a k obnovení provozuschopnosti zařízení. Jde-li o soubor oprav prováděný v rámci celého objektu, často při jeho

dočasném vyřazení z funkce (nebo omezení funkce), mluví se popř. o generální opravě.

Charakter oprav resp. celkových oprav mohou mít i rekonstrukce popř. modernizace. Z praktických důvodů se zařazují do této kategorie (bez ohledu na podstatu činnosti nebo její označení v oficiálních materiálech), pokud jsou hrazeny z provozních prostředků.

Velké opravy, rekonstrukce popř. modernizace velkých celků se někdy připravují a budují jako samostatné investiční akce, zejména při změně nebo zvýšení užitku vodních děl apod.

Typickým případem, kdy dochází k zvýšení hodnoty vodního díla je např. zvýšení přehrady, zvětšení kapacity pojistných zařízení (výstavbou doplňkového přelivu nebo modernizací dosavadního), dokončení výstavby vodní elektrárny (nebo další etapy hydroenergetického využití) popř. vybudování nového odběrného objektu. Používání pojmu celková oprava modernizace, rekonstrukce popř. dalších zatím není ustáleno; vhodnejší je co nejpřesněji charakterizovat příslušnou akci, např.: Výměna jezových uzávěrů nebo Vodárenské využití nádrže.



Obr. 4.1 Vývoj základních prostředků a péče o ně v oboru vodních toků ve správě bývalých podniků Povodí v České republice

Vývoj péče o vodní toky a vodní díla na tocích je zřejmý z obr. 4.1, kde je zobrazen jednak postupný nárůst objemu základních prostředků (tj. pořizované hodnoty nově vybudovaných vodních děl a zařízení, mechanismů atd.) od r. 1970, společně s dalšími významnými charakteristikami péče o jejich dobrý technický stav a bezpečnost. Jedná se o sumární údaje nejvýznamnějších správců vodních děl na tocích, tj. bývalých podniků Povodí v CR (nejsou to tedy všechna vodní díla v bývalé ČSFR).

Důležitá je druhová skladba základních prostředků: největší objem představují investice vložené do úprav toků (témař 40 %); přitom ve správě bývalých podniků Povodí bylo  $\approx 17,5$  tisíc km délky vodních toků, z toho  $\approx 11,5$  tisíc km neupravených), jejichž pořizovací cena (PC) je nulová); na druhém místě jsou přehrady a nádrže - 33 %, následují jezy a jezové zdrže - 18,5 %. U jednotlivých druhů vodních staveb se prostředky na údržbu i opravy značně liší.

V tabulce 4.1 jsou uvedeny poměrné údaje, vyjadřující objem oprav v % pořizovací ceny.

Tabulka 4.1 Podíl oprav z pořizovací ceny (1981)

upravené toky	přehrady a nádrže	jezy a zdrže	stroje	ostatní	%
1,66 %	0,36 %	0,99 %	7,45 %	2,58 %	1,32 %

Pokud se jedná o počty pracovníků, v celkových počtech jejich nárůst odpovídá rozvoji základních prostředků. Bohužel tomu tak není u pracovníků zaměřených na stavebně montážní činnost (SMČ) a v dílnách, kde z grafu je zřejmá stagnace. Obdobně tomu je u pracovníků přímo na objektech.

Vývoj objemu oprav (v ročních finančních ukazatelích) rovněž nebyl příznivý. V r. 1970 na ně bylo vynaloženo jen asi 1 % pořizovací ceny základních prostředků, tj. podstatně meně než v jiných odvětvích. Přitom je třeba uvážit, že ~ 12 % z celkového objemu oprav se vynakládá na péči o neupravené vodní toky. Zhruba stejná částka se v průměru ročně vynakládala na odstraňování následků povodní (~ 13 %). V posledních letech se ukazuje, že je to nedostačující, protože zjištěné povodňové škody na tocích jsou v průměru téměř trojnásobné.

Až dosud se nepříznivě projevuje stav před r. 1970, kdy při decentralizaci správy na úrovni okresních organizací se na opravy vodních děl a vodních toků vynakládala je asi třetina skutečné potřeby. Ani dnešní situace není uspokojivá.

Opravy na vodních dílech ve správě organizací Povodí se zajišťují jednak vlastními pracovníky, tj. jednak zaměstnanci přímo na vodním díle jednak zaměstnanci specializovaných útvarů a dílen, jednak dodavatelsky. Podíl oprav zajišťovaný dodavatelsky je necelých 43 %, v brzké budoucnosti se předpokládá jeho zvýšení asi na 50 %.

Ukazuje se, že v příštích letech bude zapotřebí zvýšit objem oprav na 1,62 % pořizovací hodnoty vodních děl a zajistit i příslušný nárůst opravárenských kapacit.

Zabezpečování včasného a kvalitního provádění oprav patří k nejobtížnějším úkolům správců vodních děl. Snahy o zajištění těchto prací dodavatelsky, tj. u organizací mimo vodní hospodářství zaměřených na stavebně montážní činnost popř. opravy strojního a elektrotechnického zařízení, narážely v minulosti na celospolečenský nedostatek této kapacit. Navíc zakázky tohoto druhu (až na výjimky) nebyly ve srovnání s novou výstavbou v tehdejších cenových relacích ekonomicky zajímavé.

Tento stav se podstatně změnil s postupujícím vytvářením soukromých stavebních firem, které mají zájem o zakázky tohoto typu - i s ohledem na skutečnost, že nabídek na novou výstavbu rozhodně v těchto letech není nadbytek.

I při zajišťování oprav vlastními silami narážejí Povodí na vážné problémy: Z věcného hlediska jde o velmi rozmanitou činnost, pro niž je prakticky nereálné vybavit se potřebnými specialisty (hlavně remeslníky) a mechanizačními prostředky. Přitom se v průměru jedná o objemově malé a uzemně rozptýlene akce, i když je snaha postupovat podle ročních plánů (se zřetelem k nalehavosti jednotlivých nárokovaných oprav), často je nezbytné neodkladně provést některé opravy mimo plán, např. po odhalení závady závažné z hlediska bezpečnosti.

nebo při náhlé poruše, která vyřadí zařízení z funkce. Všechny tyto skutečnosti podstatně snižují produktivitu práce a za současných cen přispívají ke ztrátovosti útvarů stavebně montážní činnosti a dílen (náklady převyšují až o 20 % výkony).

Zvláště složité problémy vznikají při zabezpečování oprav strojně-technologického zařízení. Cetnost oprav uzávěrů výpustí, přelivů, odběrů, jezových uzávěrů (včetně doprovodných zařízení a příslušenství) je vysoká. Hlavními příčinami tohoto stavu byla jednak nedostatečná resp. nekvalifikovaná péče v minulosti a také nízká kvalita a malá provozní spolehlivost nově dodávaných zařízení. Zajistit opravu u dodavatelů těchto zařízení bylo až dosud mimořádně obtížné; nejnaléhavější opravy se často řeší vlastními silami (pracovníci dílen) za odborného dozoru dodavatele strojního zařízení.

Provozní údržba se z hlediska finančního objemu samostatně nesleduje. Z provedených rozborů vyplývá, že celkový roční objem údržby v nedávné minulosti u bývalých podniků Povodí v ČSR je možno odhadnout na 40 mil. Kčs. Tato částka je do značné míry limitována nedostatečným stavem pracovníků zajišťujících bezprostředně péči o objekty. Pak je logické, že se provozní pracovníci více věnují výkonu obsluhy a na údržbu popř. opravy jím nezbývají sily. Do budoucna se plánuje dvojnásobné zvýšení ročních částek na údržbu (včetně pracovníků atd.)

Pracovní úkony obsluhy, údržby popř. drobné opravy zajišťují pracovníci trvale působící na vodních dílech, tak je tomu u přehrad, pohyblivých jezů (ne vždy), vodních cest, vodních elektráren. Upravené úseky toků, pevné jezy popř. další objekty jsou bez trvalé obsluhy.

Poznámka: V našich podmínkách se vysoko hodnotí trvalá přítomnost obsluhy na dílech, která trvale nebo dočasně vzdouvají vodu (a podléhají tudíž kategorizaci z hlediska technickobezpečnostního dohledu). V zahraničí, např. ve Švýcarsku, ve Francii (i v dalších zemích) dnes existují významné vodní díla bez trvalé přítomnosti pracovníků, s dálkovým ovládáním i kontrolou funkcí (zejména přehrady vybudované vysoko v horách).

#### 4.3 NEJVÝZNAMNĚJSÍ ÚKOLY PROVOZNÍ UDRŽBY A OPRAVY NA VODNÍCH DILECH

Péče o technický stav vodních děl je komplexní činností, které se provádějí plánovitě nebo vznikají jako náhlá potřeba v průběhu let provozu. Aniž bychom tu uváděli co nejúplnejší výčet těchto činností na jednotlivých druzích objektů a zařízení (což by ostatně pro studium bylo málo stravitelné), upozorníme vždy na nejtypičtější práce - popř. s uvedením příkladů. Nezahrneme tu ani rozsáhlé rekonstrukce, které po technické stránce jsou většinou velmi zajímavé a poučné, ale většinou se uskutečňují jako nové stavební akce.

V přehledu podle druhů vodních děl je prakticky ve všech případech možno zahrnout základní úkony obsluhy, tj. předepsané manipulace (včetně předepsaného ošetřování zařízení), obchůzky, sledování a měření charakteristik prostředí a hospodaření s vodou resp. regulace odtoku, jejich evidence a předávání, kontrolu činnosti cizích organizací popř. jednotlivců v zájmové oblasti vodního díla (se zaměřením zejména na nepovolené resp. škodlivé aktivity), ostrahu atd. Prakticky všech vodních děl se dotýkají problémy zimního provozu, o nichž se souborně pojednává v kap. 3, u objektů vzdouvajících vodu dále přistupuje technickobezpečnostní provozní činnost (kap. 5). K závažným úkolům obsluhy vodních děl za provozu patří i péče o jakost vody v tocích (kap. 6) jako sou-

stavná plánovitá činnost. K tomu přistupuji v podstatě havarijní provozní stavu při nichž jde o omezení negativních účinků a likvidaci následků náhlého znečištění toku únikem škodlivých látok (např. ropných produktů, chemických látok, výluh).

• Vodní toky

Správa a péče o soustavu vodních toků v rámci uceleného povodí (popř. vymezené části) je základní provozní činností ve vodním hospodářství. Učinky proměnlivosti průtoků, chodu splavenin, zimního režimu i činnosti člověka mimo vodní hospodářství přispívají k náročnosti úkolu udržet tok v dobrém technickém stavu a současně jako pozitivní prvek krajiny resp. přírodního prostředí. Zejména po významných povodních nebo obtížném ledochodu dochází ke změnám (resp. škodám), jejichž naprava vyžaduje zvýšené úsili, prostředky i čas. Přitom se správce toku setkává se značným tlakem na naprávnu vzniklých škod.

Současný program revitalizace vodních toků zdůrazňuje zejména ekologický význam tohoto specifického prostředí. Jde o velmi složitou problematiku plánovitého návratu vodních toků co nejbliže přírodnímu vývoji při respektování nezbytných požadavků z hlediska odtokových poměrů a stability toku v prostředí.

Tento program klade mimořádné nároky zejména na provozní činnosti správce vodních toků, protože opatření tu mají charakter převážně údržby popř. oprav a jen minimálně nové výstavby.

Vyjdeme-li z neupraveného toku (jako původního útvaru), pak hlavním úkolem je zajistit stabilitu vodního toku a nepřipustit jevy, které by (třeba lokálně) tuto stabilitu ohrozovaly. Jde hlavně o zachování průtočného profilu vlastního koryta včetně přilehlých inundačních území. K tomu slouží odstraňování nánosů a přerůstající nebo příliš husté vegetace, vyvrácených stromů a zachycených cizích materiálů po opadnutí povodně (pláví). Tam, kde se projeví výmoly popř. nátrže, je nutno je zasypat a vhodně opevnit (záhozy, pohozy, vegetaci). V místech, kde se povodňové škody opakují, je často účelné stav zlepšit lokální úpravou. Provádění těchto relativně jednoduchých prací je obvykle komplikováno špatnou přístupností míst. Dále je třeba vzít v úvahu, že nejvíce aktuální jsou tyto práce krátce po opadnutí povodně, kdy však obdobné požadavky přicházejí z objektů s vyšší prioritou z hlediska funkce popř. bezpečnosti, a proto je nezbytné práce na neupravených tocích odsunout (pro nedostatek pohotových pracovních kapacit). Oddálení nápravných opatření se často negativně projeví pokračujícím poškozováním úseku toku.

Z ekologického hlediska je však vhodné stabilizační opravy resp. korekce uskutečnit jen v nezbytně nutném rozsahu (tam, kde nehrozí další devastace, ponechat přirozený vývoj).

U upravených toků jde navíc o soustavnou péči o opevnění koryta, ať již se jedná o zahozové patky, pohozy, dlažby či vegetační opevnění. V rámci provozních činností se popř. napravují některé nedostatky úpravy, které se projevily v průběhu let. Jde např. o lokální zesílení opevnění, zesílení ochranných (protipovodňových) prvků, úpravy v inundaci atd. Při využití usměrňovacích popř. soustředovacích staveb jsou jednak nezbytné rychlé opravy poškozených exponovaných částí (zhlaví), jednak se sleduje popř. koriguje proces zaplňování mezi prostorům splaveninami. Dále přistupuje údržba a opravy samostatných objektů v rámci úpravy, např. sestupných ramp, schodišť, příčných prahů, měrných profilů. Na splavných usecích toku je nezbytná péče o objekty a zařízení zabezpečující plavební provoz (viz dale).

I v případě upravených úseků toků je snaha uplatnit v provozu vhodné re-vitalizační prvky a vhodné je zapojit do krajiny

#### • Nádrže a jezové zdržě

Ve srovnání s vodním tokem při provozu nádrží a zdrží se vyskytuje některé nové skutečnosti, např.:

- abrazní jevy účinkem větrových vln,
- soustavné ukládání splavenin v místech poklesu rychlosti proudění na konci vzdutí,
- obnažování ploch při snížení hladiny vody v nádržích,
- zvýšená snaha o rekreační využití vodní plochy a bezprostředního okolí a jiné.

U vodních nádrží (popř. zdrží), z nichž se oddebírá voda pro pitné účely, přistupuje navíc soubor provozních činností zaměřený na ochranu jakosti vody (péče o pásmo hygienické ochrany, kontrola dotčeného území, záchytné nádrže atd.).

Specifickou provozní činností u nádrží a zdrží je sledování rozvoje abrazních jevů popř. pohybu svážných území, a to hlavně v oblastech karpatského flyše popř. v podmírkách s obdobnou geologickou stavbou. Zajišťování takto namušených údolních svahů popř. břehů patří k náročných opravám.

Poznámka: Problematikou sledování abrazních jevů na nádržích a zdržích za-provozu se podrobne zabýval M. Lukáč [4] (nádrž Velká Domaša, Liptovská Mara, zdrž Drahotovce). Významné problémy spojené s rozvojem abraze jsou na na-nádržích Orava, Nechranice, Nové Mlýny a dalších.

S postupujícím zanášením nádrží a jezových zdrží v průběhu mnoha let provozu postupně nabývá na aktuálnosti otázka racionálního vytěžení splave-nin. Tento problém, původně významný hlavně u řekonosných toků, se dnes roz-síruje i do jiných oblastí, protože četné antropogenní vlivy v povodích v po-sledních letech významně přispěly k erozivním procesům.

Vytěžování materiálu běžnými mechanismy pro zemní práce (včetně dopravy) vyžaduje odvodnění nánosů (a tudíž relativně dlouhodobé vyprázdnění nádrží - zdrží) a zpevnění dopravních cest. V údolích se strmými údolními svahy jsou navíc velké potíže s přístupností prostoru nádrží a s dopravní vzdáleností pro odvoz vytěžených materiálů. Na splavných tocích lze při těžbě usazených mate-riálů využít hydromechanizace. Ač se to zdá paradoxní, nejsložitější je najít způsob využití popř. místa pro uložení vytěžených nánosů. Při dnešním znečištění vodních toků nelze předpokládat, že by nánosy neobsahovaly škodlivé látky, a proto jejich využití pro zemědělské účely je až na výjimky vyloučeno. Jde tedy v podstatě o nevyužitelné odpady, s obdobnými problémy při ukládání jako u jiných balastních průmyslových odpadu (obtížnost získání potřebných ploch resp. objemu v kulturní krajině s intenzivním využitím).

V konkrétních případech jde při těžbě nanosů v nádržích popř. ve zdržích o velmi náročnou operaci. Na Slovensku se k ni přikročilo na nádržích na Váhu, konkrétně Krpelany, Nosice a v poslední době Hričov. V případě nádrže Kadaň na Ohři se pouze zjistil velký rozsah zanesení, od téžování s odvozem na skládku se však provádí pouze lokálně (v okolí čerpací stanice), obdobně u nádrže Bílá Třemešná na Labi - tu se však od téžby nánosů pro četné problémy zatím upustilo.

V některých případech postačí upravit poměry na konci vzdutí, tj. časťným vytěžením nánosů a terennimi úpravami zamezit obnažování zbaňelých ploch při zaklesnutí hladiny v nádrži.

Poznámka: Při výstavbě nádrží resp. soustav nádrží na štěrkonosných tocích se většinou nepředpokládá odtažování usazených materiálů; v souladu s prognózou zanášení nádrží a tudíž zmenšování objemu se plánují i změny ve funkci vodních děl.

Odtěžování nánosů jako plánovitá provozní činnost je (resp. by měla být) součástí provozu záchytných nádrží na konci vzdutí vodárenských popř. i jiných zásobních nádrží. Tu otázky spojené s téžbou materiálů, dopravou i ukládáním by mely být řešeny již v projektu.

Poznámka: Odstraňování nánosů vytěžováním se obecně považuje za nejméně efektivní. Pro zmírnění procesu zanášení jsou účinná zejména opatření v povodí. V samotných nádržích lze při vhodných podmínkách využít hustotních proudu k provedení jemných suspendovaných materiálů za povodní; v blízkosti vzdouvacích objektů může být účinné použití zvláštních výpustí.

Vedle usazených materiálů je v provozu nádrží a zdrží nutno řešit odstraňování plovoucích materiálů z hladiny (připlavené stromy, křoviny apod.).

Zájem o rekreační využití vodních ploch působí správcům vodních děl značné problémy. Postupně bylo nutno omezit pohyb veřejnosti v okolí nádrží (zdrží) na vyhrazené oblasti, vyloučit soukromou motorovou plavbu a výrazně omezit kotvení obytných lodí. Přesto je stále dost problémů způsobených porušováním předpisů veřejnosti, popř. úmyslným poškozováním nebo znečištěváním okolí.

Pro vodárenské nádrže, zdrží popř. úseky toků s vodárenskými odběry je za provozu nutno pečovat o pásmo hygienické ochrany. Zejména v 1. ochranném pásmu je nezbytná ochranná péče o záchytné pásy smíšeného lesa a travní porosty. Pokud jsou tyto plochy ve správě jiné organizace, je povinností správce vodního díla kontrolovat ošetřování těchto porostů - obdobně jako kontrole opatření k zajištění ochrany vody v dalších pásmech.

Předmětem provozních činností jsou i další objekty popř. pracovní plochy sloužící v oblasti nádrže správci díla popř. dalším uživatelům.

#### • Kanály

Práce spojené s údržbou a opravami jsou obdobné jako u upravených toků. U kanálů v násypu je dále nezbytná kontrola funkce popř. opravy těsniciho prvku, kontrola drenážní soustavy a údržba podélných záchytných příkopů. Zvýšená péče se věnuje odstraňování nánosů a provozu v zimě, protože v kanálech znamenají tyto vlivy prakticky vždy zhoršení průtokových poměrů.

Zvláštní pozornost zasluhuje interakce kanálu s podzemními vodami v okolí. Tu nehomogenost a anizotropie filtračních charakteristik zejména podloží ztěžuje odhadnout účinek vzdutí popř. snížení hladiny vody (v kanále), a proto je nezbytné pečlivé sledování a příp. vybudování dodatečných sanačních prvků.

#### • Plavební dráhy a objekty

Na splavných úsecích vodních toků u nás jsou správci plavebních objektů a zařízení příslušné organizace Povodí. Předmětem údržby a oprav je kontrola rozměrů plavební dráhy, odstraňování plavebních překážek a péče o vytýčení, signalizaci, zabezpečovací zařízení atd. Odstraňování nánosů v plavební dráze

po povodních patří k nejnáročnějším, protože v co nejkratší době je nutno zajistit průjezdnost a další odtěžování provést popř. až při plavebním provozu. S ohledem na obtíže při hledání míst vhodných deponií je snaha ukládat vytěžený materiál do míst nadměrných hloubek (výmolů atd.).

V plavebních drahách a zejména na objektech zajišťujících proplavování lodí (plavební komory, rejdy, vydrážkací prostory atd.) je poměrně značné riziko poškození nárazy plavidel. Proto opravy svodidel, nárazníků, zafízení pro dynamickou ochranu vrat jsou poměrně časté, dochází i k poškození náběžních zdí, porušování kamenných obkladů. Zvýšenou pozornost při údržbě vyžaduje příslušenství komor. V důsledku velmi častých změn hladiny v plavebních komorách je proces stárnutí těchto objektů poměrně rychlý, což klade vyšší nároky na údržbu a opravy (např. spárování a injektování zdiva atd.).

**Poznámka:** Na labské vodní cestě se vedle údržby a oprav při současné probíhajícím plavebním provozu zajišťuje zvýšená péče o objekty a zafízení při plánovaných plavebních přestávkách. Ty umožňují v rámci úprav např. i betonářské práce – je čas na dosažení alespoň minimální pevnosti betonu (po 14 dnech).

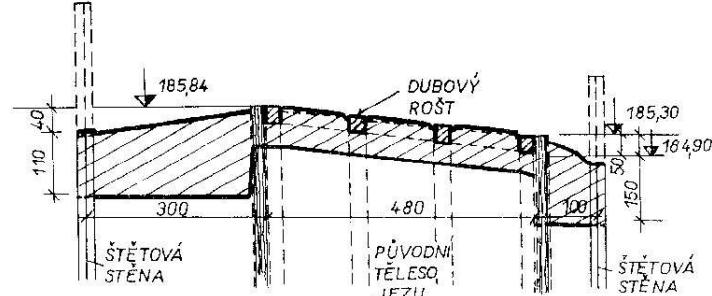
#### • Jezы

Ve správě Povodí v českých zemích je zhruba 1000 těchto vzdouvacích objektů o rozmanitém koncepcioním a konstrukčním řešení. I když rozlišení pevných a pohyblivých jezů je obvykle nezbytné, vzhledem k tomu, že strojně technologickým zařízením (uzávěry) se budeme zabývat odděleně, v tomto odstavci pojednáme o stavebních částech.

Zvýšené namáhání jezových konstrukcí je způsobeno jednak účinky vzduté vody jednak velkými rychlosťmi proudění s potřebou utlumit přebytečnou kinetickou energii přepadající vody popř. i ledovými jevy. Potřeba údržby a zejména oprav je dále vyvolána značným stářím některých objektů (hlavně pevných jezů) a nedostatečnou péčí v minulosti.

K nejvýznamnějším provozním úkonům patří včasné zjištění a oprava poškozených míst jezového tělesa, pilířů, dna a prahů vývaru. Tak lze zabránit pokračujícímu porušení. Velkou pozornost je rovněž nutno věnovat zjištování a sanaci výmolů i dalším jevům, ohrožujícím stabilitu objektu (včetně podloží).

Správci jezů jsou často nuteni vlastními silami provádět i poměrně náročné celkové opravy. I když mnohá jezová tělesa z minulosti nemají hydraulicky vhodný tvar, i při rozsáhlých opravách se obvykle respektuje původní konstrukce – s ohledem na začlenění do krajiny i v zájmu hospodárení a racionalního provedení opravy.



Obr. 4.2 Celková oprava Staroměstského jezu na Vltavě v Praze - vzorový příčný řez

Příkladem opravy tohoto typu (i když za účasti cizího dodavatele) je oprava Staroměstského jezu na Vltavě v Praze (obr. 4.2). Nosnou myšlenkou projektu bylo zachovat vlastní jádro jezového tělesa včetně zachovalého dubového roštu přelivné plochy a zabezpečit je o-

celovými štětovými stěnami (Larsen IVn) a betonovými prahy v předpolí a za povodní části vzdouvací stavby.

Štětovnice, vytvářející štětové stěny jako zabezpečovací prvky podloží jezu, byly po dobu výstavby vytaženy nad hladinu při průtoku  $560 \text{ m}^3/\text{s}$  a zajišťovaly ochranu staveniště (po dokončení prací byly pod vodou odstraněny). Z prostoru mezi štětovými stěnami a jezovým tělesem byl odstraněn záhozový materiál i zabezpečovací piloty, stejně tak ochranné desky i výplňový materiál do hloubky 0,3 m pod úroveň dřevěného rostu. Uvolněné prostory byly vyplněny kvalitním betonem (viz cbr.). Původní ochranné desky na přelivné ploše se využily jako záhozový materiál v podjezdi.

U pohyblivých jezů se stavební části může významně dotknout výměna jezových uzávěrů, jejichž životnost je podstatně kratší než u betonových popř. zděných konstrukcí. Zpravidla se dává přednost nahradě uzávěry stejného typu (z dnešních hledisek popř. například výhradně), aby zásah do zdiva byl co nejménší.

Poznámka: mimořádně významnou akci byla nahrazena starých hradlových popř. stavidlových jezů (se slupicemi) na dolní Vltavě a středním Labi moderními konstrukcemi v 70-tých letech.

#### • Přehrady

Přeče o technický stav přehrad (vedle úkonu obsluhy - včetně TBD) se zaměřuje jednak na přehradní těleso spolu s podložím jednak na náročné a z hlediska bezpečnosti velmi významné manipulační objekty.

Kontrola průsekových poměrů (a jejich projevů) v podloží přehrad v moderním pojetí se zaměřuje vyváženě na těsnici a odlehčovací soustavy. Pokud nehrozí neúměrná ztráta vody průsakem nebo projevy nestability podložních materiálů, dává se přednost spíš odvodňovacím prvkům. Těsnicí prvky v podloží, hlavně injekční clony, poměrně rychle ztrácejí funkční způsobilost (hlavně jílocementové popř. jílové směsi - nezbytné např. v horninách karpatského flyše), a proto za provozu je nezbytná opaková injektáz (např. VD Orava, Sance a další). Odlehčovací systémy je někdy nutno rozšířit již ve stadiu ověřovacího provozu, po letech popř. již nejsou schopny plnit plánovanou funkci, a proto je nezbytná celková oprava (popř. znovuzfízení) drenážní soustavy.

Problém spolehlivé funkce drenážní soustavy je významný též u sypaných přehrad, protože podmiňuje mj. bezpečnost přehradního tělesa. Náprava v případě zjištění zamokřených zón se řeší většinou zřízením doplnkového odlehčovacího prvku (drénu, studny apod.). Charakteristickým provozním problémem je dále přeče o opevnění svahu. na návodní straně je v řadě případů třeba soustavně doplňovat kamenný pohoz popř. sledovat proces vyplavování podkladních materiálů pod opevněním.

Poznámka: Na některých VD se vyskytly některé negativní jevy, např. pokles resp. deformace opevnění z betonových desek (VD Těrlicko, VD Hracholusky). Přičinou bylo vyplavení podkladní vrstvy s převládající písčitou frakcí.

Vzdušní líc se běžně ošetruje pravidelným kosením trávy, značný význam tu má zavlažování ošetřovaných ploch (postříkem) a také přihnojování. K stabilitě opevnění významně přispívá odvedení srážkové vody ze svahu soustavou říček (pečlivě udržovaných).

Poznámka: Problémy s opevněním pohozem se vyskytly u nás na VD Rozkoš (rozdělovací hráz), Vihorlat, Nové Mlyny ad.

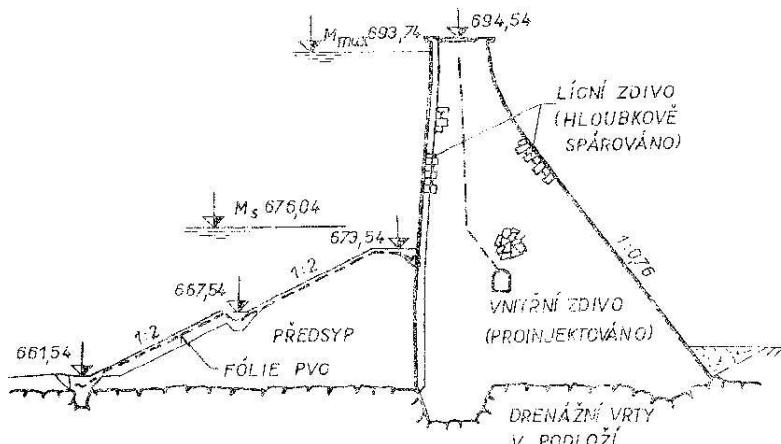
Rozporné jsou názory na ponechání nebo dokonce výsadbu stromů a keřů na vzdušných svazích sypaných přehrad.

Tyto porosty přispívají k zapojení vzdouvací stavby do krajiny a k potlačení konstruktivistické strohosti díla. Je však nutno mít na zřeteli, že na svahu tráva v podstatě vyhyně (pod křovinami a stromy) a že vyšší porost ztěžuje pozorování a měření na vodním díle (při úpatí svahu je obtížné sledovat příp. vlhká místa, zarůstají průhledy mezi měrnými body a stanovišti atd.).

Proto je vždy třeba hledat rozumný kompromis, přičemž dnes je snaha vtisknut i svahům násypů více přírodní ráz.

Z hlediska provozu zděných přehrad v ČR většinou z počátku 20. stol. jsou aktuální opravy kamenitého zdiva na cementovou popř. trasovou maltu, a to licenčního i vnitřního.

Na lících se stárnutí projevuje hlavně porušováním malty ve sparách mezi kameny licenčního zdiva, ve vnitřní zóně vlivem prosakující vody dochází k vyluhování pojiva. Přes různé varianty oprav, jejichž hlavní myšlenkou je zřízení nové návodní dostatečně nepropustné zóny (z vystuženého betonu většinou nanášeného střikáním - s kotvením do původního zdiva, z bituminozního materiálu - do mezery mezi původním lícem a novým ochraňným pláštěm z prefabrikovaných betonových desek aj.), je za nejvhodnější považováno nové vyspárování licenčního zdiva (do hloubky) a injektování vnitřních zón. Tchoto postupu se nakonec použilo při celkové opravě přehrady Labská (obr. 4.3).



Obr. 4.3 Oprava zděné přehrady Labská - řez

V rámci přípravy se zkoušely některé technologie budování povrchových těsnících vrstev, výsledné řešení však ve spolupráci s Výzkumným ústavem inženierských stavieb (pracoviště Brno) spočívalo ve vyčistění spár a v novém vyspárování koloidní maltou. Hledaly se postupy, zajišťující co nejvyšší produktivitu práce (i když širší mechanizace práci je obtížná), a složení malty s dobrou přilnavostí, vodotěsnosti a trvanlivosti. Při injektování vnitřního lomového zdiva se směsi vyplnila i původní drenázní soustava při návodním lící, takže bylo nutno provést odlehčovací vrty.

Poznámka: - Injekční práce je nutno provádět obezpečně a kontrolovat zejména spotřebu injekční směsi, protože je značné riziko úniku směsi do dutin a prostorů v přehradním tělese.

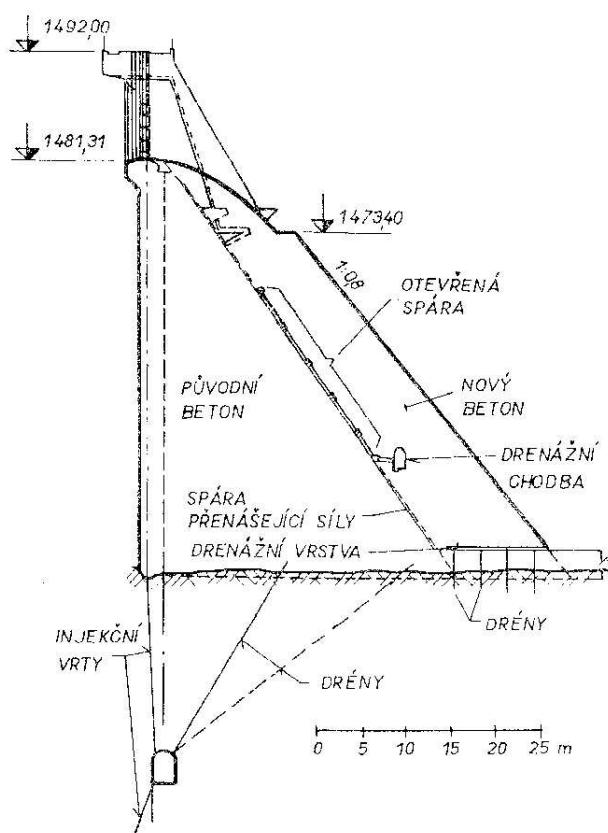
- Zónu při návodní patě nebylo možno vyspárovat s ohledem na příspěv z výkopu při výstavbě (obr. 4.3). Proto se přikročilo k položení těsnící fólie na svah, zakotvené jednak do zdiva na návodním lici původního přehradního tělesa, jednak do zídky zavazující těsnění po obvodě nasypu do podloží: Toto řešení se však ukázalo jako nevhodné, protože nová těsnící soustava (zejména nedosatečné resp. obtížné proveditelné zavázání do podloží pomocí betonové zídky) nezajišťovala vyšší nepropustnost než původní přehradní těleso hluboko zavázané do skály pomocí ozubu.

U betonových přehrad se zařajení provozu někdy bývají problémy s těsněním dilatačních spár v důsledku poškození těsnicích pásů při výstavbě nebo jiných nedostatků provádění. Obvykle se vadně zóny sanují zainjektováním.

Nejvýznamnějším problémem je však trvalé spojení původního betonu s novým, což však platí pro všechny betonové konstrukce, nejen pro přehrady. S ohledem na teplotní účinky, objemové změny při hydrataci a jiné vlivy se většinou nepodaří eliminovat spáru na sráhu nového betonu se starým, a proto k přenášení sil se zpravidla v konstrukci užívají kotvy popř. zazubení a spára se zainjektuje (chemickou směsí - epoxky aj.). Při opravách povrchových poškození betonových konstrukcí se uplatňují plastbetony. Když i v tomto případě je nutno počítat s rozdílnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi, vysoká pevnost

plastbetonu při dobrém provedení zajišťuje trvanlivost opravy (i při zvýšeném namáhání např. rychle proudící vodou - ve skluzech, na odrazných blocích atd.). U vodních staveb je ostatně většinou nutno počítat s nepříznivějšími kombinacemi namáhání než u jiných konstrukcí: vždy se uplatní např. účinek mrazu v kombinaci s účinky vody v pórech materiálu, střídavé vysychání a zmáčení atd.

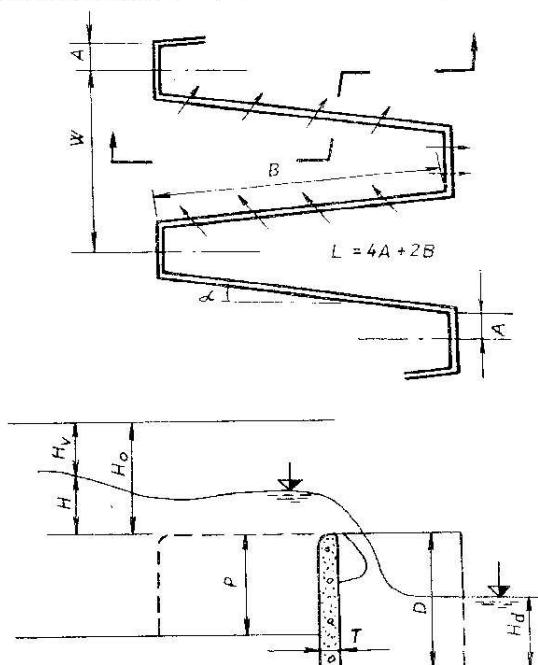
Při dobetonování prvků o větší hmotnosti je závažným problémem vliv procesu hydratace nového betonu na celou konstrukci. Proces přetvofení a napjatosť (i vývoj s časem) je dnes možno modelovat numericky, se zahrnutím vývoje vlastností nového betonu s časem; nelze však postihnout některé další vlivy (singularity; chemické děje aj.). Pro lepší představu je připojeno schéma přibetonování vzdušní paty těžné přehrady (obr. 4.4), kde výsledné řešení bylo vybrano po rozsáhlých výpočtech metodou konečných prvků.



Obr. 4.4 Oprava těžné přehrady přibetonováním na vzdušní straně - řez

Nejvhodnější rozdělení napětí se dosáhlo při zachování otevřené spáry mezi starým a novým betonem, s výjimkou spodní a horní části přehradního tělesa.

U pojistných zařízení je poměrně častou úlohou zvýšení návrhové kapacity přelivu např. při přehodnocení N-letých max. průtoků hydrologickou službou nebo při změně normy pro navrhování těchto objektů (např. v USA se přehodnocovaly všechny přehrady). Vedle výstavby doplňkového přelivu je vhodnou variantou rekonstrukce s využitím tzv. labyrintového přelivu (obr. 4.5).



Obr. 4.5 Schéma labyrintového přelivu

žovinou, textilií), a to včetně vlastní koruny přelivu. Podrobnosti uvádí např. L. Satrapa, včetně závěru z experimentálního ověřovacího výzkumu.

Ten prokázal, že vyztužený drn snese účinky proudu vody o rychlosti  $3,5 \text{ ms}^{-1}$  po dobu až 20 h (při rychlosti  $5 \text{ ms}^{-1}$  po dobu 2 h). Je nutno se vyvarovat propustné vrstvy pod travním opevněním, aby prosáklá voda neohrozila patu skluzu.

Při vyztužení travního opevnění syntetickou mřížovinou nejsou zásadní námítky ani proti vedení skluzu po vzdušním lici hráze.

#### ● Uzávěry jezů, přelivů, výpustí, odběru a další příslušenství

Význam spolehlivé funkce uzávěrů pro různé účely a jejich příslušenství (ovládacích aj. prvků) je pro řádné využívání a bezpečnost vodních děl nesporý. Fungují často ve velmi náročných podmínkách: vysoké rychlosti, tlaky, dynamické účinky, zimní režim, splaveniny, riziko poškození plavidly atd. Životnost těchto prvků je obecně podstatně kratší než u stavebních konstrukcí vodních děl. Přesto jim se strany projektantů a zejména výrobci nebývají u nás věnována nezbytná pozornost, vážné nedostatky se vyskytují i u provozovatelů. Výsledkem tohoto stavu je velký počet poruch na uzávěrech, který byl zaznamenán v průběhu jejich provozu - zejména v 70. - 80. letech.

Ukázalo se, že zhruba polovina poruch připadá na kostrukční nedostatky, nevhodný materiál, nedostatky v projekci, při výrobě a montáži - včetně takových, že nebyla např. vyřešena možnost nezbytného mazání.

Druhá polovina poruch zahrnuje převážně provozní vlivy, z nichž nejvýznamější je opotřebení s časem, účinky námraz, cizích předmětů i nedodržování předepsaných provozních pravidel, nesefízenost zařízení atd.

Z kritického rozboru příčin poruch se dospělo k závěru, že vedle nezbytné větší pozornosti se strany projektantů a výrobců technologického zařízení je nezbytné všeestranně zvýšit péči o uzávěry a jejich příslušenství za provozu. Proto byl vypracován systém kontrol, prohlídek, revizí a funkčních zkoušek tétoho zařízení jako významná součást obecnějších zásad pravidelné údržby, oprav a revizí na vodních dílech. Nezbytným předpokladem jeho plnění je dostatečná kapacita pracovníků provozních organizací zaměřených na tuto činnost (s nezbytnou kvalifikací), příslušné vybavení a materiálová základna.

Poznámka: Zásadním problémem, přetrávajícím po léta, je nezájem výrobců strojního zařízení (ČKD Blansko, Sigma) o funkční spolehlivost jejich výrobků (vyplývající mj. z monopolního postavení a z vysokého zájmu o nové výrobky). Přitom zajištování velkých oprav specializovaným čtvarem výrobce, např. při výměně podstatných částí uzávěrů, by nesprávně přispělo k podstatnému zlepšení provozní spolehlivosti uzávěrů a jejich příslušenství. Dosavadní snahy správců vodních děl však u příslušných strojírenských koncernů nenašly pozitivní odezvu.

#### LITERATURA

1. ON 73 6808 Provozní řády vodních děl.
2. Pracovní materiály MLVH ČR.
3. Kratochvil, S. - Paule, V. - Votruba, L.: Provoz a rekonstrukce vodních staveb, SNTL Praha, 1965.
4. Lukáč, M. - Abaffy, D.: Vlnenie na nádržiach, jeho účinky a protibrázné opatrenia. Príroda Bratislava, 1980.
5. Sborník z 15. přehradního kongresu v Lausanne, 1985, 3. díl.

## 5. TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍ DOHLED (TBD)

O smyslu, obsahu a hlavních zásadách technickobezpečnostního dohledu se pojednává v profilovém odborném předmětu Jezy - Přehrady - a to převážně z hlediska zajištění bezpečnosti jako nejvýznamnějšího požadavku na tento typ vzdouvacích staveb. Tu prohloubíme poznání z hlediska provozu, tj. výkon technickobezpečnostního dohledu budeme chápát jako velmi významnou specifickou součást provozních činností na vodních dílech. Ta se týká pouze konstrukcí nebo ucelených souborů, které slouží k trvalému nebo dočasnemu vzdutí vody a jejichž porušením se může vytvořit průlomová vlna. Vedle přehrad se TBD týká významných jezů, hrází odkališť, ochranných hrází podél toků, kanálových hrází (přivodních kanálů v násypu), popř. i dalších objektů, při jejichž porušení vytékající voda může ohrozit životy lidí a pustít hmotné škody.

Připomeneme, že legislativním základem pro výkon TBD je zákon o vodách (č. 138/1973 Sb.), zákony ČR a SR o státní správě ve vodním hospodářství a na ně navazující vyhlášky MVLV ČR resp. SR o odborném technickobezpečnostním dohledu, že jeho rozsah a obsah je diferencován podle hospodářského významu díla a odhadu potenciálních škod resp. ztrát na životech při jeho porušení (kategorie I až IV).

Poznámka: V současné době se intenzivně pracuje na novém vodním zákonu, který by měl zahrnout zásadní společenské a ekonomicke změny posledních let.

V koncepci technickobezpečnostního dohledu se však nepředpokládají žádné podstatnější změny, včetně zodpovědnosti správce díla, úkolu pověřené organizace atd. (pouze v organizačních otázkách zájmě dojde k úpravám).

Za kvalifikovaný výkon technickobezpečnostního dohledu plně zodpovídá správce vodního díla. U neinvyznamnějších vodních dílů (I. a II. kategorie) je povinen zapojit do této činnosti pověřenou odbornou organizaci, jíž je úsek TBD, rozvíjející svoji činnost (po řadu let až do r. 1993) v rámci podniku Vodohospodářský rozvoj a výstavba (VRV) v Praze resp. Vodohospodářská výstavba (VV) v Bratislavě. Tato povinná spoluúčast se zajišťuje na základě hospodářské smlouvy, přičemž výšší míra zodpovědnosti připadá na pověřenou organizaci.

Jedním ze základních principů výkonu TBD je osobní odpovědnost. U organizace, která je správcem (majitelem) vodního díla, je za tu to činnost zodpovědný hlavní pracovník TBD, v pracovním kolektivu úseku TBD (ve VRV resp. VV) je pro každé dílo I. nebo II. kategorie jmenovitě určen odpovědný hlavní pracovník TBD. Rovněž na samotném vodním díle provádí pravidelné obchůzky a předepsaná měření pověřený pracovník (hrázny resp. jezny), a také při provádění speciaálních měření nemůže jít o anonymní pracovní tým. Je pamatováno na přenesení příslušných zodpovědností na stanovené zástupce v případě dovolené, nemoci apod. ustanovených pracovníků TBD.

Složitější situace může vzniknout při zajišťování TBD na dílech nižších kategorií. Tu často povinnosti správce leží na instituci bez potřebné úrovni odborných znalostí. Do jisté míry je může suplovat metodická pomoc úseku TBD popř. jejich konkrétní znalecká činnost nebo operativní pomoc v kritických situacích, což je důležité zejména u několika set vybraných objektů III. kategorie. Úseky TBD soustavně usilují o zvyšování odborných znalostí pracovníku působících přímo na objektech pořádáním periodických školení spojených s výměnou zkušeností.

Technickobezpečnostní dohled se stává provozní činností v pravém slova smyslu při prejimce vzdouvacího objektu správcem (provozovatelem). V počátc-

ním období funkce díla, v tzv. ověřovacím provozu, je výkon TBD zvlášt důležitý a náročný, s četnými atypickými prvky (zvýšená četnost měření; provádění některých speciálních měření; manipulace s hladinou v max. rozsahu atd.). Po tomto období se po léta provozu sleduje chování vodního díla podle schvaleného programu.

Poznámka: Problematika TBD se uplatní dříve než před přejímacím řízením vodního díla. Předem - již v prvních fázích projektu se zpracovává studie, která by měla přispět k vytypování hlavních rizik porušení vzdouvací stavby. V projektové dokumentaci je pamatováno na projekt pozorování a měření na vodním díle. Při instalaci zařízení pro měření, kterou si dnes zajišťují samy úseky TBD v součinnosti s výrobním podnikem a hlavně investorem, a při následujícím základním měření, stále ještě nejde o provozní činnost, stejně tak při dalších měřeních.

Pozorování a měření zaměřené na co možná dokonalé podchycení podstatných projevu chování díla trvá po celou dobu jeho existence. Končí až zrušením vodního díla nebo tzv. uvedením do neškodného stavu, kdy se musí zamezit vzdutí vody. Některé objekty je však nutno sledovat dále, např. odkaliště uranového průmyslu apod.

#### 5.1 ZPŮSOBY TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU

Základním úkolem obsluhy na vodním díle z hlediska TBD je pravidelná obchůzka. Dlouhodobá zkušenosť potvrzuje, že obchůzkou bylo zjištěno až 80 % případů neobvyklého chování objektu. Jde však o to, aby byla prováděna svědomitě a kvalifikovaně, tj. aby pracovník obsluhy byl přesně instruován, jakých projevů si má zejména všimat. Samozřejmě, že významnou úlohu při tom má zkušenosť pracovníka, která se získává dlouhodobou praxí a systematickým doškolováním. Velmi se osvědčilo, když hrázný (jezny) byl získán z rukou pracovníků, kteří se zúčastnili výstavby vodního díla.

Základním metodickým přístupem při obchůzce je snaha odhalit neobvyklé projevy vodního díla na podkladě porovnávání se stavem, který byl konstatován při předchozích prohlídках. Hodnocení je samozřejmě subjektivní, komplikované navíc proměnlivostí chování vodního díla v závislosti na ročním období, teplotě popř. jiných vlastnostech prostředí, výskytu sražek, poloze hladiny vody v nádrži atd. Aby bylo reálné tyto projevy zjistit, je nezbytné zajistit přístup do všech míst, která zaslouží zvýšenou pozornost a možnost nezkresleného pozorování.

Poznámka: V zájmu začlenění vodních dílů do prostředí je snaha v širokém mříži uplatnit doprovodnou vegetaci. Např. na vzdušních svazích sypaných přehrad (hlavně v místech zavázání do původního terénu) se intenzivně propagouje pěstování křovin. Všechny tyto snahy se musí podřídit požadavkům bezpečnosti vodního díla. Konkrétně řečeno: je-li v oblasti zavázání hráze do boku údolí na vzdušní straně zapotřebí sledovat, zda nedojde k zvýšenému průsaku (zamokřená místa, bujnější vegetace aj.), pak je nezbytné omezit vegetaci pouze na travní porost a pravidelně odstraňovat divoce vznášející křoviny popř. stromy.

V souladu s programem TBD obsluha díla provádí předepsaná měření ve stanovených lhůtách. Tu je zvlášt významné, aby bylo jednoznačně stanoveno (v programu TBD), kdo jaká sledování provádí resp. zajišťuje, jak náklada se

zjištěnými skutečnostmi a jaké kdo má povinnosti v případě zjištění neobvyklého chování vodního díla.

Obsluha díla provádí převážně tzv. běžná měření, snadno uskutečnitelná bez speciálního přístrojového vybavení a kvalifikace. K nim patří hlavně sledování vlivů prostředí (teploty ovzduší, vody, srážková činnost aj.) sledování významná z hlediska funkce díla (přítok, odtok, stav hladiny v nádrži, v zimě ledové jevy), sledování režimu podzemních a průsakových vod (měření průtoku prosáklé popř. svahové vody ve vhodné zvolených místech, jednoduchá měření tlaku vody) popř. jednoduchá měření přetvoření konstrukcí.

Výsledky sledování obchůzkou a předepsaným souborem měření jsou u děl I. a II. kategorie předávány úseku TBD (tj. pověřené organizaci) k vyhodnocení; u děl nižší kategorie toto vyhodnocení zajišťuje sám správce.

K předepsanému periodickému hodnocení provozní způsobilosti a bezpečnosti vodních děl I. a II. kategorie je nutno výsledky běžného sledování doplnit údaje získanými speciálním měřením, které provádí resp. zajišťuje sám úsek TBD. Všechny postupně soustředované a vyhodnocované údaje (dnes s využitím počítače) slouží jednak k operativnímu rozhodování hlavnímu pracovníku TBD jednak k vydávání etapových resp. souhrnných zpráv o vodním díle v předepsaných lhůtách.

Operativní hodnocení bezpečnosti vodních děl se opírá jednak o porovnávání výsledků měření s předem stanovenými meznimi (popř. kritickými) hodnotami, jednak o zhodnocení časového vývoje vybraných veličin. Důležité je při tom konstatování, že obchůzkou nebyly zjištěny žádné mimořádné skutečnosti.

V lhůtách předepsaných vyhláškou o TBD (v CR č. 62 z r. 1975) správce vodního díla svolává technickobezpečnostní prohlídky (u I. kat. jednou za rok, u II. kat. za dva roky, u III. kat. za 4 roky). Jejich hlavním smyslem je na místě posoudit technický stav vodního díla, s využitím výsledků sledování podstatných projevů jeho chování, prověřit úroveň obsluhy a údržby a formulovat opatření (včetně pořadí důležitosti a časové náležavosti) zaměřená na zvýšení bezpečnosti objektů v dalším období provozu. Účastníkem těchto prohlídek je i zástupce místní, městské, okresní, regionální popř. vyšší správy (jako vodohospodářský orgán), který současně plní funkci dozoru nad výkonem technickobezpečnostního dohledu. Vodohospodářský orgán na podkladě závěru technickobezpečnostní prohlídky obvykle vydává rozhodnutí, jímž správci vodního díla uloží provést nápravná opatření (tj. většinou opravy), včetně lhůt jejich realizace. Tak se provozní činnost zaměřená na bezpečnost vodních děl proliná s klasickými úkony technického provozu, jimiž jsou údržba a opravy.

Poznámka: Účastníky prohlídky jsou pracovník odpovědný za provoz, obsluha díla, hlavní pracovník dohledu pověřené organizace (u děl I. a II. kategorie), znalci vybraní z hlediska nejvýznamnějších problémů provozu vodního díla (i z oboru strojního popř. elektrotechnického).

Prohlidku řídí hlavní pracovník dohledu správce vodního díla. Na závěr je nutno porušit zápis o prohlídce, doplněný popř. vyjádřenimi znalců.

Z hlediska TBD jsou nejvýznamnější takové projevy chování vodního díla, které lze označit jako atypické, nenormální resp. odchylné od dosavadní zkušenosti. Včasné odhalení takových stavů je vlastním smyslem výkonu TBD za provozu. Pak je nutno neodkladně posoudit, do jaké míry je odchylka od normálního chování vodního díla (v stanovených mezích) nebezpečná, včetně akutnosti příslušného rizika. Tu je žádoucí, aby se hlavní pracovník TBD při závažném rozhodování mohl opřít o autoritu úseku TBD a většinou o závěry přizvaných exper-

tú. Vždyť např. rozhodnutí o prázdnění nádrže všemi prostředky, které jsou na vodním díle reálně k dispozici (popř. včetně nouzových otvorů), je ve svých důsledcích velmi závažné. Hlavní pracovník TBD ho zřejmě použije v případě, kdy bude zřejmě akutní nebezpečí porušení vzdouvací stavby.

Může jít v zásadě o dva kvalitativně odlišné projekty.

- Nebezpečí dosažení popř. překročení mezní hodnoty je signalizováno po jistou dobu předem. V takovém případě je možno včas zavést mimořádná měření, zabezpečit průzkumy a analyzovat příčiny negativního jevu, popř. se pokusit o prognózu dalšího vývoje a připravit popř. uskutečnit účinná protiopatření.

- Zjištění nepřirozeného stavu je neočekávané. V takovém případě je situace podstatně složitější. Je nutno rychle zvážit riziko a rozhodnout - a přitom počítat i s možností zkreslení naměřené hodnoty nahodilými vlivy. To vše vyžaduje komplexní pohled na problematiku, zkušenosť, operativní spolupráci všech účastníků a dotčených stran a plnou zodpovědnost.

Výskyt těchto mezních situací nesmí být v systému TBD překvapením. Proto v programu dohledu je stanovenou, jaká zjištění obsluha díla okamžitě hlásí, komu, kterých spojových prostředků použije a jaká nouzová a varovná opatření jsou pro takové případy připravena.

Poznámka: Zařízení instalovaná na vodním díle pro potřeby sledování z hlediska bezpečnosti musí být pečlivě ošetřována a udržována. Požadovaná přesnost měření je vysoká, přičemž zařízení jsou často v nepříznivém prostředí se zvýšenou vlhkostí, vystavena atmosférickým vlivům atd.

Pro lepší představu o provozních činnostech zaměřených na péči o bezpečnost vodních děl tu uvádíme stručný obsah programu dohledu při trvalém provozu konkrétního vodního díla. Bezprostředně po dokončení výstavby díla se postupuje podle programu dohledu v ověřovacím provozu, který se od trvalého provozu zpravidla liší větší četností měření, prováděním speciálních měření a významnými změnami zatížení.

Uvodní list Programu TBD obsahuje i specifikaci objektu a jeho kategorii (zařazení provádí nejvyšší vodohospodářský orgán ve smyslu Zákona o vodách - tj. dnes Ministerstvo životního prostředí ČR), údaje o správci, jeho hlavním pracovníku TBD a hlavním pracovníku obsluhy díla, údaje o pověřené organizaci TBD a jejím hlavním pracovníku TBD (vše včetně adres a telefon.spojení) a dále hlavní termíny pro odesílání hlášení, pro posouzení výsledků hlášení a pro vydávání etapových resp. souhrnných zpráv.

Obsah TBD se člení do těchto kapitol:

1. Všeobecná část.
2. Přehled kontrolních pozorování a měření, jejich četnost a rozsah, mezní hodnoty.
3. Pokyny pro obchůzky konané obsluhou díla.
4. Závěrečná ustanovení.

Ve všeobecné části se konstatuje dohodnutá rozdělení pracovních činností při výkonu TBD mezi správcem a pověřenou organizací. Uvádějí se rovněž některé specifické provozní stavy a zvláštnosti, vyplývající při nich pro pozorování a měření resp. pochůzky.

Stanoví se jednoznačně den výkonu předepsané provozní činnosti, pokud se obecně uvádí 2. týdně, 1. týdně, 1. za 14 dnů popř. i za měsíc (bud stanovením data nebo dne v týdnu). Dále se určí, že každé hlášení musí být odesланo neprodleně (nejpozději do 2 dnů) po skončení období sledování, i když v nichž je nutno výsledky hlášení vyhodnotit (opět zpravidla 14 dnů).

Zvlášť jsou rozpracovány pokyny při dosažení stanovených mezních hodnot vybraných sledovaných jevů. Zjištění je nutno neprodleně ohlásit hlavnímu pracovníku TBD pověřené organizace (VRV). Ten pak provede prověrku zjištěného stavu na místě, zavede mimořádná měření popř. šetření, v případě potřeby na vrhne opatření pro omezení provozu. Zároveň je předepsána činnost pro obsluhu díla do doby, než se hlavní pracovník TBD VRV dostaví na objekt.

Ve všeobecné části Programu by mělo být ohsaženo umístění a technická dokumentace všech zainstalovaných přístrojů a zařízení. Tyto materiály jsou však většinou v úplnosti zahrnuty v předchozích dokumentech (zprávách) vydaných TBD VRV, zejména po dokončení výstavby popř. v závěrečné fázi ověřovacího provozu, a proto se Program TED pro trvalý provoz na ně většinou odvolává.

**Fřehled pozorování a měření a pokyny pro obcházky** tvoří hlavní náplň Programu. Obsahuje v úplnosti všechny předepsané úkony TBD – v souladu s charakterem objektu, existujícimi riziky a zabudovanými kontrolními přístroji a zařízeními.

Na obr. 5.1 je schématicky znázorněno rozmištění měrných profilů a základen v tělese vysoké kamenité přehrady se zemním těsněním.

K této přehradi (včetně podloží) se vztahují i následující údaje z Programu.

V přehledu kontrolních pozorování a měření se zpravidla v jednoduché tabulce zpracuje předepsaný program. V záhlavi je vždy sledovaný jev a k němu se přiřádí: měřicí zařízení popř. metoda, umístění měřicího zařízení, četnost měření, kdo měření provádí, charakteristická veličina sledovaného jevu včetně jednotek, s nimiž se pracuje, mezní hodnota popř. doplňující poznámky.

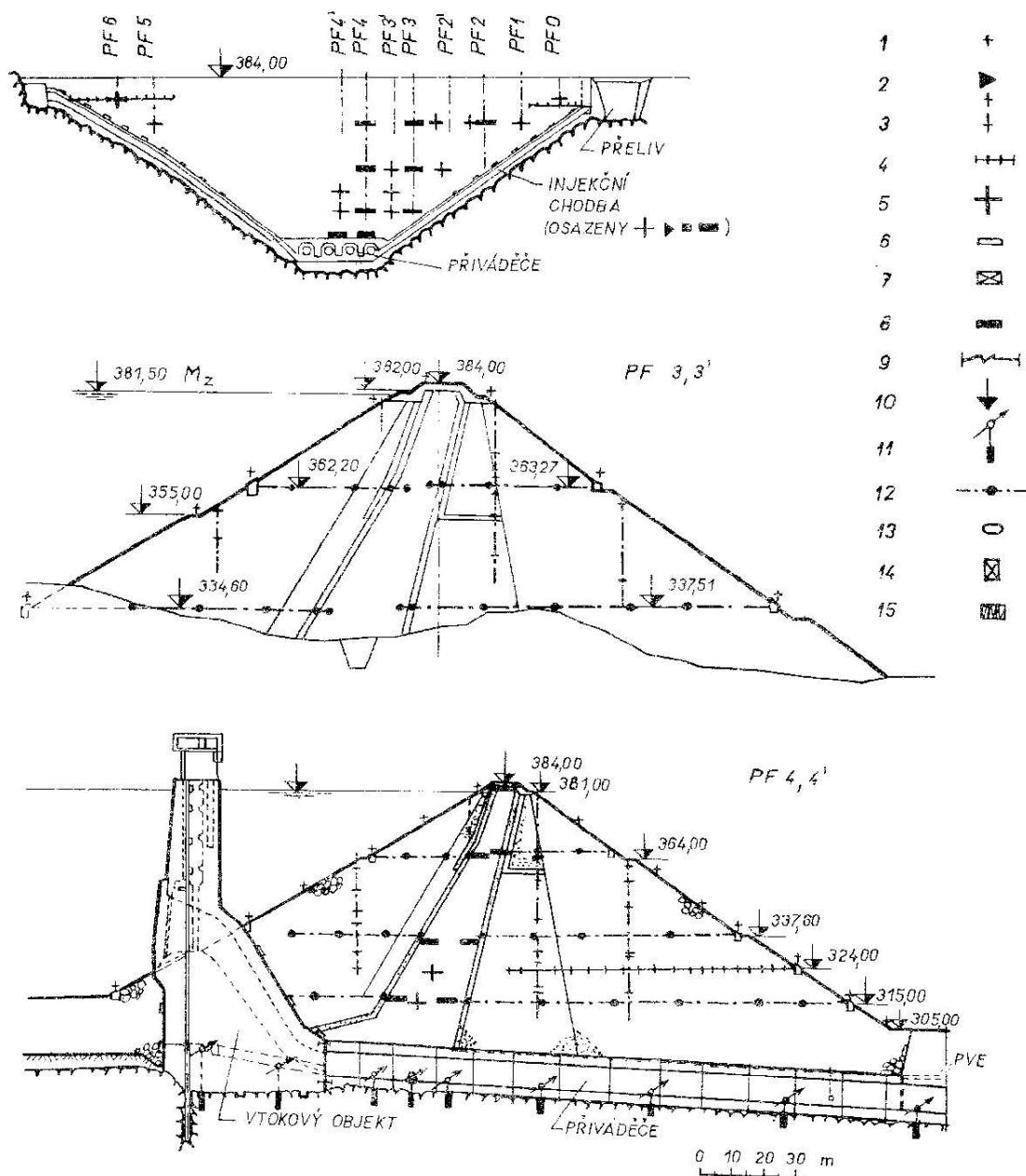
Ze sledovaných jevů u sypané přehrady jsou nejvýznamnější:

1. Deformace hráze - svislé posuny,
  - vodorovné posuny,
  - poměrné přetvoření,
2. Deformace podloží - svislé posuny.
  - náklony objektu,
  - nerovnoměrnost sedačí.
3. Tiaky vody v přehradním tělese a v podloží.
4. Průsak vody hrázi a podložím.
5. Zvláštní druhy zatištění - interakce mezi přehradním tělesem a betonovými objekty.
6. Provozní a povětrnostní poměry - srážky, teplota ovaduší, výška sněhu,
  - hladina v nádrži, tloušťka ledu, výška sněhové vrstvy,
  - přítok do nádrže, odtok z nádrže,

Příklad položky v přehledu:

Sledovaný jev	Měřicí zařízení	Umístění	Četnost měření	Měření provádí	Veličina jednotka	Mezní x) hodnota
průsak hrázi a částí podloží	trojúhel- níkový měrný přeliv	sběrná šachta	denně	obsluha díla	ls <sup>-1</sup>	5.5 ls <sup>-1</sup>

x) Pozn.: Plati pro bezsrážkové období.



1 - kontrolní výškové a směrové body; 2 - rostahomérne základny; 3 - inklinometrické sondy Telemac a Terra Probe; 4 - elektromagnetické sondy VUIS; 5 - extensometry Maihak; 6 - animace půrového tlaku; 7 - náklonoměry Maihak; 8 - tlakoměrná krabice Maihak; 9 - dilatometr Maihak; 10 - hrázové kyvadlo; 11 - vztlakoměrné vrty; 12 - výškoměrné krabice; 13 - extensometry VUIS; 14 - klinometr; 15 - piezosnímače.

Obr. 5.1 Schéma rozmištění kontrolních přístrojů a zařízení v tělese významné přehrady

Pro některé jevy může být popř. instalováno více zařízení, četnost měření nemusí být přitom shodná. např. pro svislé posuny se současně používá:

- |                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| - velmi přesná nivelačce              | - 2x ročně |
| - výškoměrné krabice                  | - 2x ročně |
| - prostorové sondy (např. magnetické) | - 2x ročně |
| - trigonometrické měření              | - 1x ročně |

V pokynech pro obcházku je rovněž vhodný tabelární přehled, v němž se hráznemu vedle četnosti prohlídky předá popis sledovaného místa resp. sledovaných míst, uvedou se druhy pozorovaných skutečností, očekávané resp. možné projevy a skutečnosti a vymezí se takové projevy díla resp. zjištěné skutečnosti, které by měly mít v zásadě charakter mezních hodnot. K těm patří zjištěné trhliny popř. relativní poklesy na koruně hráze, propadnutí povrchu vzdušního svahu hráze, soustfeděný výron vody při vzdušní patě hráze nad  $1 \text{ ls}^{-1}$ , každý výron zakalené vody.

V pokynech pro obcházku se vedle vlastní vzdouvací stavby vždy zahrnují přelivné, vypustné, odběrné popř. další objekty a jejich technologické zařízení.

V závěrečném ustanovení je zachycen způsob projednání programu TBD pro trvalý provoz, návrhy na změny Programu a jejich projednávání v budoucnu (včetně ustanovení o tom, k jakým dočasným změnám je oprávněn hlavní pracovník TBD apod.).

Program TBD se předá též příslušnému vodohospodářskému orgánu, který je ze zákona povinen a oprávněn vykonávat dozor nad výkonem technickobezpečnostního dohledu.

Poznámka: Uroveně TBD u nás je po léta na vysoké úrovni díky mnohaleté konцепní a metodické práci úseku TBD VRV Praha resp. VV Bratislava. Vedle získávání nových a nových zkušeností z výkonu TBD (včetně nutnosti řešit kritické resp. havarijní situace) je zajištěn soustavný vzestup peče o technický stav a bezpečnost přehrad vlastním rozvojem (feší se úkoly technickoprovozního rozvoje) a kontakty se zahraničím (s obdobnými pracovišti v dalších zemích s vyspělou přehradní výstavbou, s technickými výbory Mezinárodní přehradní komise zaměřenými na otázky stárnutí, sledování a bezpečnosti přehrad atd.).

#### LITERATURA

1. Vyhláška MLVH CSR č.62/1975 Sb. o odborném technickobezpečnostním dohledu na některých vodohospodářských dílech a technickobezpečnostním dozoru národních výborů nad nimi.
2. Materiály úseku TBD VRV Praha (etapové zprávy TBD, programy TBD, zprávy o řešení úkolů technickoprovozního rozvoje atd.).

## 6. VODNÍ TOKY, VODNÍ DÍLA A JAKOST VODY

Péče o jakost vod je dnes nejpříčivějším a nejnáročnějším problémem při zajišťování aspoň přijatelného stavu v péči o vodní bohatství našeho státu, ať již se jedná o povrchové či podzemní vody. Vzhledem k tomu, že po léta nebyly důsledně zajišťovány povinnosti dané zákonem o vodách a povolovaly se stovky výjimek a navíc podstatně vzrostla produkce znečištění, včetně plošného znečištění smyvy ze zemědělské půdy i znečištění z ovzduší, stala se problematika znečištění vodních zdrojů natolik závažnou, že je nezbytné soustředěné úsilí celé společnosti k nápravě tohoto nepříznivého stavu jako jeden z významných úkolů v rámci komplexní rehabilitace životního prostředí. Významné úkoly přitom plní i správci vodních toků a vodních děl.

### 6.1. HLAVNÍ PRAVNÍ POVINNOSTI V PECI O JAKOST VODY

- Organizace, které nakládají s vodami, jsou povinny provádět účinné úpravy v technologii výroby, aby se dosáhlo co nejracionálnějšího a opětovného využití vody a zajistila se obnova popř. zlepšení jakosti vody.
- Investorské organizace bytové výstavby, závodů apod. jsou povinny zabezpečit odvádění a čištění odpadních vod.
- Provozovatelé plavidel, správci přístavů jsou povinni zabránit úniku škodlivých látek do povrchových vod.
- Správci zemědělských, lesních pozemků a rybníků musí hospodařit tak, aby zabraňovali nepříznivým odtokovým poměrům, splavování půdy a naopak napomáhali k zlepšení vodohospodářských poměrů.
- Ti, kdo vypouštějí odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, jsou povinni dbát, aby jejich jakost nebyla ohrožena nebo zhoršena.
- Každý je povinen se zdržet mytí motorových vozidel ve vodních tocích.
- Ti, kdo zacházejí se škodlivými látkami, jsou povinni učinit taková opatření, aby tyto látky nevnikly do povrchových nebo podzemních vod.
- Organizace, která způsobí zhoršení jakosti vodního zdroje, je povinna nahradit škodu tomu, kdo má právo odebírat vodu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o povinnost vyplývající ze zákona o vodách, dozor nad jejich dodržováním přísluší především orgánům Státní správy a příslušné inspekci. Organizace, spravující vodní toku na geograficky omezeném území, byly logicky vtahovaly do vodohospodářské problematiky celého povodí, včetně rizik z hlediska jakosti vody, vyplývající z existence některých závodů popř. provozů i zemědělské velkovýroby (živočišné i rostlinné).

Postupně získávaly zkušenosti při vyskytovaným se nebezpečném popř. havarijním znečištění, včetně realizace nezbytných opatření. To je opravňovalo vykonávat neformální kontroly v rámci celého povodí a současně i prevenci popř. osvětu. Jejich úkoly a povinnosti, stanovené vyhláškou MLVH č. 19 z r. 1978, obsahovaly ostatně významná ustanovení z hlediska hospodaření s vodou a péče o jakost vody.

Správce toku sleduje dodržování povinností a podmínek stanovených v roz hodnutích, povoleních a souhlasech vodohospodářských orgánů k zvláštnímu užívání vody a zároveň obecné užívání vod ve vodním toku. Sleduje odpady vody a vypouštění odpadních vod do říční sítě, soustavně se zabývá jakostí vod, dba aby nedocházelo k narušování důležitých zájmů společnosti a spolupracuje při tvorbě a ochraně životního prostředí.

Spolupracuje hlavně při řešení zvláštních situací na toku, ať již se jedná o nedostatek průtoku v mimořádně málovodních obdobích, o řešení povodňových situací, či o zneškodňování havarijního zhorskání jakosti vody.

Všechny tyto úkoly vyplývají ze základní povinnosti spravovat vodní tok resp. síť vodních toků komplexně, v souladu se zájmy společnosti (danými hlavně zákonem o vodách a zákony o státní správě ve vodním hospodářství).

V současné době je snaha výrazně posilit úkoly organizaci Povodí v péči o jakost vody a ochranu vodních zdrojů na jimi spravovaném území, včetně peče o podzemní vody. Povodí za leta svého působení dobře znají místní problematiku (do podrobnosti), pro časného vodohospodářského spravovaní jim bohužel chybí nezbytné pravomoci (nedostatky v legislativě).

#### 6.2 SLEDOVÁNÍ JAKOSTI VODY

Tato povinnost je správní aktuálně naznačována jménovitě; u vodohospodářsky významných toků se úkoly v rámci oblasti v příslušné vyhlášce dále rozpracovávají, včetně pověření sčítat výsledky sledování na požadání vodohospodářskému orgánu nebo státní vodohospodářské inspekci. Zároveň se mu ukládá úkol komplexně pečovat o jakost vody z hlediska povodí.

Organizace Povodí jsou povinny v předepsaných lhůtach odebírat vzorky a provádět rozboru vody - to vše v rámci soustavného sledování jakosti vody ve vybraných (státních) profilech.

Poznámka: S ohledem na skutečnost, že odběry vody v diskrétních časových úsecích nemohou čestalsčně sgolenlivě postihnout všechny závažné změny v jakosti vody s časem, bylo značné úsilí věnováno vyvoji automatické stanice, sledující kontinuálně vybrané ukazatele jakosti vody. K širšímu uplatnění v praxi však zatím nedošlo.

K tomu, aby mohly provádět rozboru vody, musí být organizace Povodí resp. jejich nižší útvary vybaveny příslušnými laboratořemi. Pokud to kapacita laboratoří dovolí, provádějí se v rámci povodí další rozboru, a to jednak v doplňkových profilech na tocích (podle potřeb Povodí), a dále rovněž pro vlastní potřeby, např. na přítoku do nádrže, v toku pod nádrží apod. Tyto laboratoře mohou provádět rozboru vody i pro další uživatele vody, kteří mají zájem na tom, jakou vodu (o jakých vlastnostech) odebírají např. jak vodní tok svojí činnosti ohrožují. Velmi závažné úkoly laboratoře podniku Povodí přejímají při výskytu náhlého zhorskání jakosti vody v toku nebo při zjištění neobvyklých jevů (např. úhybu ryb). Tu z provedených rozborů je možno často odhalit původce znečištění a hlavně zvolit účinná opatření k zmírnění důsledků negativního stavu.

Za běžného provozu v zájmu jakosti vody v tocích je úkolem správce vodních toků soustavně ovlivňovat potenciální znečištovatele v povodí (včetně zemědělské rostlinné výroby jako původce závažného a obtížně technicky řešitelného plošného znečištění smývy), aby aktivně zajišťovali příslušná opatření ve vlastních provozech (neinvestičního charakteru - např. údržbu a opravy v soustavách odpadních vod, na skládkách, na nádržích a skládkách potenciálně škodlivých látek, školení obsluhy).

Organizace Povodí se dnes koncepčně zaměřuje na vytvoření uceleného systému péče o jakost vody. Jeho výchozí základnou je kontrolní činnost v povodí, počínaje zmapováním zdrojů znečištění (+ pokračující vyhledávací kontrolní činnosti) přes terénní kontrolní činnost včetně cílené zaměřené na specifické

znečišťovatele v povodí apod. Zásadní význam však mají odborné činnosti zaměřené na jakost vod, v nichž je zahrnuta práce laboratorií, jejichž úkolem je hodnotit stav v oblasti znečištění vod v dané oblasti a navrhovat opatření pro zlepšení stavu (konkrétní zásahy i koncepcionální zaměry). Úspěšnost této činnosti však vždy bude závislá na jednáních s hospodářskými a společenskými subjekty v povodí, z jejichž aktivit vyplývá produkce znečištění vod popř. rizika čistotářských havárií.

Snahou je sjednotit hospodaření s vodou v povodí (činnost dispečinku), tj. kvantitativní stránku problému, s řešením problematiky jakosti vody. Celý systém vyžaduje plynuly tok a vyhodnocování informací - samozřejmě na bázi příslušného technického vyšvihu.

Kromě této činnosti musí správce toku sám využívat všech možností k podpoře samočisticích procesů v toku. Jedním z prostředků, který tu je k dispozici, je obohacování vodního prostředí kyslikem, a to relativně jednoduchými způsoby účinného provzdušňování, zejména v málovodných obdobích (viz dodatek A).

Poznámka: Nedostatek kyslíku ve vodě (bez náhlého znečištění) může vyvolat na toku stav, který má projevy havarijního charakteru, zejména hromadný úhyn ryb.

Může k němu dojít např. vypouštění vody s nedostatkem kyslíku z hlučky nádrže bez provzdušnění na výtoku, nebo za zvláštních podmínek v málovodném období.

Např. v létě 1976 byl pozorován hromadný úhyn ryb na Lužnici, kdy se k velmi malým průtokům a značnému znečištění vody organickými látkami (ne havarijnými) připojily vysoké teploty ovzduší a vody. Urychlily se rozkladné procesy ve vodě spojené se značnou spotřebou kyslíku, čímž došlo k poklesu rozpustěného kyslíku ve vodě pod minimální biologickou mez - bez možnosti změnit průtokové poměry popř. operativně zavést aeraci.

### 6.3 HAVÁRIE

K nejvýjimečnějším provozním stavům na tocích patří havarijní stavů z hlediska čistoty resp. jakosti vod. Zjištění takového stavu obecně není jednoduché. Pokud se jedná o látky snadno rozpylelivé ve vodě, bez doprovodných barevných resp. páchnových efektů (kyanidy, fenoly, amoniak aj.), je prakticky jediným okamžitým indikátorem havarijního stavu úhyn ryb. Snáze lze zjistit únik ropných láttek, které se projevují charakteristickými skvrnami na hladině, znečištěním břehu atd.

Základním prostředkem správce vodního toku při výskytu havarijního znečištění je zabránit v co možné největší míře šíření znečištění směrem po proudu. Pokud se jedná o škodlivé látky, které se snadno rozpylely ve vodním prostředí, je nezbytné vhodnou manipulaci vodních děl, vybudovaných výše na toku, zajistit požadované zředění, tj. snížení koncentrace pod škodlivou mez.

Poznámka: Mimofádně obtížná je situace, když k havarijnemu znečištění dojde nad užitelnou nádrží. I když popř. lze vhodnými manipulacemi znečištěnou vodu nádrží převést (často prochází nádrží ve vrstvě, aníž by došlo ke kontaminaci celého nádržního objemu), existuje riziko dlouhodobého zdržení, lokálního zvýšení koncentrace škodlivých láttek atd.

K nejčastějším čistotářským haváriím na tocích v posledních letech dochází v důsledku úniku ropných láttek. Na rozdíl od jiných potenciálních zdrojů havarijního znečištění je uživatelů nafty, benzínu a topných olejů velký po-

čet, rovněž manipulace s těmito látkami jsou časté, a proto i riziko úniku do vodotečí vysoké.

Tato skutečnost přinutila bývalé podniky Povodí vybavit se technikou potřebnou k zachycování ropných láttek na hladině a k jejich odstraňování z vodního prostředí. K základnímu vybavení patří: plovoucí norné stěny, zabírající znečištění směrem po proudu (obvykle je nutno zřídit více clon za sebou - popř. i vicefadiach), speciální zařízení k jímání a čerpání povrchové vrstvy s převahou ropných láttek (stérače či odlučovače na principu vytvoření deprese hladiny virem popř. na principu zvýšené přilnavosti ropných láttek na kovu) a materiál s velkým měrným povrchem k odstranění zbytkového znečištění (sorbenty - u nás se běžně používá Vapex).

K tomu je nezbytné doplňkové vybavení (pro sběr pevných láttek z hladiny, dopravní prostředky, souloži, sběrné nádrže atd.), vycvičená obsluha i připravenost z hlediska likvidace zachyceného znečištění. Velmi pracné a nákladné je očištění břehů od zachycených ropných láttek.

Poznámka: Likvidace následku havárie je především povinností toho, kdo ji způsobil. V praxi jsou však poměrně časté případy, kdy je nutno vinníka hledat (včetně důkazu zavinění), včetně průzkumu příčin havarie. Zejména v případech, kdy se jedná o zavinění hrubou nedbalostí obsluhy, je snaha při vyšetřování zamítat popř. zkreslit skutečnosti. Ani organizace jako právní subjekt v zásadě nemá zájem na odhalení pravého stavu. Přitom ohlašovací povinnost je samozřejmě uložena původci havarie a nezávisle na tom každému, kdo havárii zjistil (hlásí se příslušnému obecnímu resp. vyššímu správnímu úřadu popř. policii). Správce toku je však první, kdo ve spolupráci s vodohospodářskou inspekcí a místními orgány samosprávy musí účinně zasáhnout - při co nejrychlejším odstranění příčin havárie, zmírnění škodlivých následků, likvidaci uniklých láttek, sledování čištění až po uvedení zasaženého úseku do původního stavu.

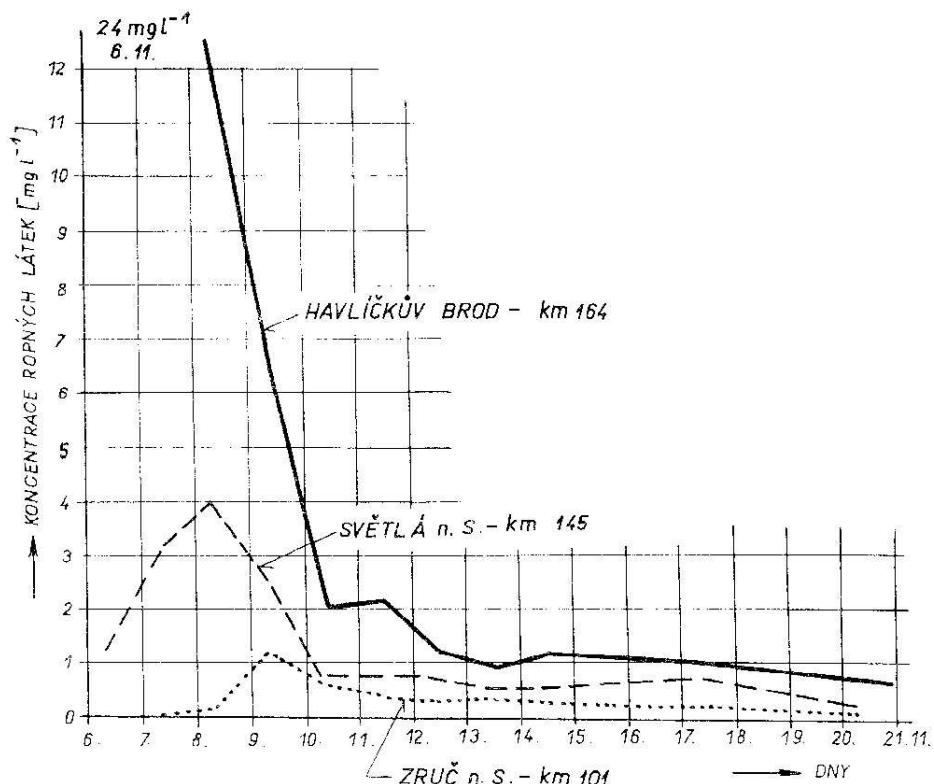
Havarijní znečištění našich toků ropnými látkami v některých případech dosáhlo hroznivých rozměrů, popř. s komplikacemi mezinárodního dosahu (znečištění Odry v r. 1986 s únikemropy do Polska).

K největší ropné havárii na území ČR došlo v r. 1980 u Bartoušova na Havlíčkobrodsku, kde z prasklého ropovodu uniklo 5 až 6 tisíc  $m^3$ ropy (v důsledku nesprávného vyhodnocení poklesu tlaku v potrubí se čerpalo ještě dalších 6 hodin - v noci). Ropa stékala po terénu do údolní nivy Šlapanky (přítok Sázavy), kde naštěstí nastala výrazná retardace odtoku v zamokřeném terénu.

Provozovatel ropovodu, podnik Benzina, vybudoval na Šlapance několik norných stěn, což však nebylo dostačující. Proto záhy zasáhly havarijní čety Povodí Vltavy (později i další pomoc), které vybudovaly další norné stěny před ústím toku do Sázavy a nasadily další čerpací techniku (včetně sorbentů). V místě mokfiny byla rovněžropa odčerpána a následovalo odtěžení kontaminované zeminy. Asanace území probíhala nepřetržitě po řadu měsíců. Použilo se i vypalování ropných láttek z terénu.

Přes provedená opatření unikla část znečištění do Sázavy. Šlo o ropu, která zpočátku podtekala norné stěny (vrstva na hladině zpočátku dosahovala 0,4 - 0,5 m) a o rozpuštěné látky. Někdy např. nebyly sily zachycené látky včas odstranit (nedostatečný počet pracovníků a techniky při obsluze norných stěn). Přesto se ale podařilo znečištění Sázavy snížit natolik, že po soutoku s Vltavou byly koncentraceropy pouze v setinách  $mgl^{-1}$ , takže bylo obtížné rozlišit včinek havarijního znečištění a přirozené pozadí. Rozdíl v koncentra-

ci ropných láttek směrem po toku Sázavy je zřejmý z obr. 6.1, kde je zobrazena její změna s časem v kritických dnech jednak v Havlíčkově Brodě (nezachycena maxima), ve Světlé a ve Zruči.



Obr. 6.1 Průběh koncentrace znečištění ropnými látkami v Sázavě v r. 1980

V zasaženém úseku Šlapanky došlo k totálnímu úhynu ryb, avšak v Sázavě pod Havlíčkovým Brodem již žádný větší úhyn nebyl zjištěn. V některých průmyslových závodech bylo nutno na několik dní zastavit provoz, niže na toku, stejně jako u vodárenských odběrů, zajistit náhražní zdroje.

Vedle velkých škod havárie na Šlapance přispěla k vyjasnění potřeb správců vodních toků i dalších organizací z hlediska materiálního vybavení pro likvidace obdobných havarii. Mj. jsou dnes snahy na simulovaných cvičných haváriích provádět výcvik a zaškolení pracovníků.

Problematika peče o jakost vody ve vodních tocích a v nádržích se v posledních letech stala součástí celostátního programu ochrany prostředí (vedle ochrany ovzduší). S ohledem na dlouhodobé trvající nepříznivý stav v přípravě, výstavbě i provozu zafizeni pro čištění odpadních vod a zatím neřešenou problematiku plánového znečištění odpadních vod smývy z povodí (včetně výrazného zhoršení splaveninového režimu) bude i nadále závažným úkolem správců vodních toků. Přitom jde o problémy velmi obtížně řešitelné, protože negativní dopady činnosti některých organizací v rámci povodí toku (jim popř. přinášejí úspory) se projeví ve vyšších náročích na správce toku, včetně zvýšení nákladu.

Faznámká: I když z hlediska zákona o vodách jde v oblasti znečištění vodních zdrojů o stav protiprávní, takova je dnešní skutečnost.

#### LITERATURA

1. Vyhláška MLVH ČSR č. 19/1978 Sb., kterou se stanoví povinnosti správců vodních toků a upravují se některé otázky týkající se vodních toků.
2. Nařízení vlády ČSR č. 25/1975 Sb., jímž se stanoví ukazatele připustného stupně znečištění vod.
3. Vučka, V. a kol.: Havarijní stavy v čistotě vod. SZM Praha, 1984.

## 7. VZTAHY K OKOLÍ

Správci vodních toků a vodních děl jsou zapojeni v složitých vztazích v rámci celého povodí, ve kterém jsou zodpovědní popř. spoluodpovědní za řešení vodohospodářských problémů. Nejvýznamnější je přitom spolupráce s orgány samosprávy měst, obcí a vyšších územních útvarů, dále s průmyslovými podniky, zemědělskými závody, správci pozemků a nemovitosti při vodních tocích, s dalšími uživateli vodních toků atd. V posledních letech stále více nabývá na významu aktivní účast správce toku při řešení otázek tvorby a ochrany prostředí.

### 7.1 MÍSTNÍ (MĚSTSKE) A.J. SPRÁVY, ORGANIZACE, OBYVATELSTVO

I když orgány samosprávy větších územních celků jsou vedle ministerstev především gestory státní správy ve vodním hospodářství, k zajištění jejich kvalifikovaného výkonu je neobytná aktivní účast vodohospodářských organizací, hlavně správců vodních toků a vodních děl na nich vybudovaných. Tato spolupráce je zvláště užitečná, pokud jde o zabezpečení zájmů popř. úkolů, které dříve stanovil směrny vodohospodářský plán, o státní vodohospodářskou bilanci popř. další rozvoj hospodaření s vodou, o ochranu vodních zdrojů, o organizaci ochrany před povodněmi atd. Příslušný úřad jako určený vodohospodářský orgán si v takových případech vyzádá od příslušného Povodí stanovisko popř. technickou pomoc.

Organizace Povodí se vyjadřují ke všem investičním akcím a opatřením, které se týkají využívání vodních zdrojů, jejich ochrany i ochrany před škodlivými účinky vody, ale i využívání území v dotyku s vodními toky z hlediska dlouhodobých záměrů vodního hospodářství v oblasti.

V státní vodohospodářské bilanci [2] (předepsané zákonem o vodách) jsou Povodí základními pracovišti. Vedou a soustavně aktualizují evidenci o odběrech vody (povrchové i podzemní) a o vypouštění vod do toků.

Mimořádně významná je účast správců vodních toků a vodních děl na plnění celospolečenského úkolu ochrany před povodněmi [3] (viz nařízení vlády ČR č. 27 o ochraně před povodněmi, obdobně je v SR). Tu patří k odborně nejlépe připraveným partnerům místních orgánů, které nesou zodpovědnost za důsledné plnění úkolů protipovodňové ochrany.

Správci vodních toků zpracovávají návrhy povodňových plánů a předkládají je příslušným místním orgánům a v souladu se schválenými plány zajišťují příslušné věcné prostředky i pracovní sily pro plnění stanovených úkolů. Za povodně sdělují povodňovým komisím stanoviška k návrhům konkrétních zásahů, k manipulacím s vodou na vodních dílech přesahujících ustanovení manipulačních řádů i k prognózám dalšího vývoje povodňových jevů. Vedou záznamy v povodňové knize a po povodni zpracovávají souhrnnou zprávu na podkladě podrobné prohlidky dotčeného území.

Poznámka: Zajištěním včasních a účinných protipovodňových opatření lze dosáhnout výrazné zmírnění povodňových škod i bez možnosti řízení povodňového odtoku, a to i při povodních o velmi malé pravděpodobnosti překročení.

Správci vodních toků se dále začastňují evidence zjištěných podzemních vodních zdrojů a odběru podzemních vod, povolení zvláštných výjimek ze zakazu užívání vod k plavbě motorovými plavidly a kontroly dodržování podmínek popř. povinností stanovených v povoleních a souhlasech vodohospodářských orgánů.

gánu a oznamování přestupků proti zákonu o vodách, zákonu o státní správě ve vodním hospodářství a souvisejícím předpisům.

V organizacích Povodí se velká pozornost zaměřuje na péči o jakost vody (viz kap. 6), ať již se jedná o opatření proti dalšímu znečišťování vod či činnost při výskytu havarijního zhoršení jakosti vody.

Obdobně je tomu při stanovení ochranných pásem k ochraně vydatnosti, jakosti a hygienické nezávadnosti povrchových vodních zdrojů a při řešení velmi obtížných problémů při obecném nedostatku vody (v mimofádné málovodných obdobích).

Správci vodních toků se podílejí i na zajišťování vodní stráže, protože převážně ze zaměstnanců provozních organizací jsou ustanovování příslušníci tohoto orgánu ostrahy, který působí v bezprostředním kontaktu s občany, místními organizacemi, s možností pohotové reakce na zjištěnou nažádoucí situaci.

V kap. 5, zahrnující péči o bezpečnost vzdouvacích staveb za provozu, se uvádí další významná oblast vztahu mezi správci vodních děl na tocích a příslušnými úřady, tj. dozor nad výkonem technickobezpečnostního dohledu.

Ve vztahu k průmyslu, zemědělství, službám popř. společenské sféře jsou úkoly správců vodních toků zejména při zajišťování odběru vody z vodních toků a nádrží (a také při zaústování odpadu do toku) a dále v opatřeních proti škodlivým účinkům vody.

Zajišťování odběru vody z nádrží a zdrží zpravidla nepůsobí potíže; složitější stavby mohou nastat u odběru z volného toku, kde se popř. negativně projeví složité hydraulické jevy a také vliv odběru pro závlahy výše na toku na odběrná místa dále na toku. Obtížné stavby vznikají i v zimním období (viz kap. 3).

Podstatně složitější problémy vznikají při zabezpečování ochrany před škodlivými účinky vody, zejména při záplavách za povodni popř. při zamokrování území v okolí toků. Vedle požadavků na případné lokální zvýšení míry ochrany před povodňemi dílčí úpravou vodního toku vznikají četné problémy na úsecích toků pod vodními díly s nádržemi. Při výskytu povodní doprovázených škodami je se strany poškozených (nejčastěji zemědělců) často poukazováno na to, že manipulace na vodním díle nezajistila očekávanou ochranu před povodními. Tato nedorozumění většinou vyplývají z nepřesných představ o možnostech vodních děl při řízení povodňového odtoku, jako by nádrž byla schopna zachytit popř. výrazně zmírnit libovolně velkou povodeň. Ve skutečnosti však ochranný účinek nádrže bývá (až na výjimky) omezen na 5 až 10-letou ochranu (výjimečně vyšší), popř. se s ním nepočítá. Obdobné spory vznikají na menších tocích, do nichž jsou zaústěny drenážní odpady; bývají zaměřeny na to, zda správce vodního toku zajišťuje dostatečnou průtočnost koryta či ne odstraňování splavenin, nadmerné vegetace atd.).

V území podél toků, které bývá zaplavováno za povodni, je nezbytný zvláštní způsob správy. Nepovoluje se tu výstavba obytných, hospodářských ani veřejných budov či závodů, s výjimkou organizací bezprostředně vázaných provozem na vodní tok. Jakákoliv jiná výstavba (komunikace atd.) je možná jen se souhlasem vodohospodářského orgánu. Případné překážky, bránící průtoku velkých vod popř. ledů, je nutno v zátopovém území upravit popř. odstranit.

Na významných vodních tocích patří k úkolům správců vodních děl bezprostřední spolupráce s organizacemi resp. pracovišti odebírajícími vodu pro využití vodní energie (vodní elektrárny, mlýny apod.).

V rámci povodí je pro pracovníky Povodi nezbytné spolupracovat s dalšími správci zejména malých toků (z odvětví zemědělství, lesnictví popř. dalších). V návaznosti na nezbytnost sledování odtokových poměru je vcelku samozřejmá úzká spolupráce s Hydrometeorologickým ústavem při údržbě a opravách měrných profilů (hrázny často provádí měření i pro ČHMÚ resp. SHMU).

V rámci souborného využívání vodních toků jsou na jejich správce kladený požadavky z hlediska rekreačního a sportovního využívání, se strany rybáře i uživatelů pozemků v bezprostředním kontaktu s vodním tokem. Některé úseky vodních toků pod nádržemi jsou vhodné pro závodní tratě vodního slalomu, je však nezbytné výrazně zvýšit cítok vody nalepšováním z nádrží. V poslední době je snaha budovat umělé slalomové dráhy v rámci výstavby nízkých přehrad (Trnávka) nebo jezů (Troja aj.).

Vytváření umělých průtokových vln je nepříznivé z hlediska zájmu rybářů (obdobně jako povodné), protože máří jejich úsilí o zarybnění obhospodařovaných úseků toku v zájmu sportovního rybolovu. Na vybraných vodárenských nádržích jsou snahy rozvinout účelové rybářské hospodaření pro zlepšování jakosti vody (Instrukce MLVH a MZV z 31.8.1977).

Rekreace u vody je velmi oblíbenou formou odpočinku, přináší však četné problémy. Ty vyplývají hlavně z živelného rozvoje různých forem rekreačního využívání a často z nekázně rekreatantů.

Poznámka: Při vodárenském využití úseků toků, zdrží a nádrží platí v I. pásmu hygienické ochrany (viz Směrnice MZV ČSR z 1.9.1978 o základních hygienických zásadách pro stanovení, vymezení a využívání ochranných zdrojů) zakaz rekrece, vodních sportů, koupání, sportovního rybaření i myslivosti. U nádrží se toto ustanovení týká celé nádrže i území po obvodu o šířce ~ 100 m. Přesto se postupně prosazují názory, že plánovitě vybudovaná a fyzicky rekrece nemůže mít podstatný negativní vliv na jakost vody (S. Blažková ad.).

Při výstavbě chat a dalších rekreačních objektů v kontaktu s vodními toky (hlavně menšími) je nutno čelit snahám o začlenění toku do těchto nemovitostí - s dopady na průtočnost koryta, přístupnost, možnost údržby a narušování stabilizovaného toku.

Vztahy k širší veřejnosti (public relation) se dnes považují za mimofádně významnou součást vodohospodářských aktivit.

Cinnost vodohospodářů, zřejmě díky nezbytným změnám přírodního prostředí, je dnes předmětem časté kritiky. Proto je nezbytné včasným a soustavným objasňováním všech závažných opatření v území předcházet konfliktům a předem negativním stanoviskům občanských iniciativ i jednotlivců. Tato oblast byla v minulosti zcela přehližena a ani dnes není na uspokojivé úrovni.

Pokud se na Povodích dále prohloubí skutečná správa z hlediska vodního hospodářství v příslušném území, bude soustavný styk s širokou škálou subjektů v povodí, s často velmi různorodými zájmy, nezbytnou podmínkou řešení problémů.

## 7.2 PROSTŘEDÍ

Vodní toky a vodohospodářská díla na nich jsou významnou součástí přírodního a životního prostředí. Je nutno mít na zítraši, že jednou ze základních vlastností povrchových vod, hlavně vodních toků, je tendence k nestabilitě. Dílem přírodních sil se snadno naruší krátkodobá rovnováha toku díveči

a postupně porušuje vlastní údolní nivu. Zároveň však je tok velmi významným krajinotvorným prvkem.

Při stabilizaci vodního toku je zásah člověka nezbytný. S ohledem na významnou biologickou funkci a estetické hodnoty však úpravy musí být takové, aby podpořily pozitivní vlastnosti toku v prostředí. Zároveň však správce toku je povinen plnit úkoly vyplývající ze zákona o vodách, zejména povinnost účinnými opatřenimi omezovat škodlivé účinky toku. V rámci provozních činností na vodních tocích k pozitivním účinkům v prostředí přispívá soustavná péče o upravené i neupravené úseky toků, včetně doprovodné zeleně a přílehlých zatápených území. Vzhledem k omezeným kapacitám a značné náročnosti údržby se často vyskytuje závady při ošetřování vegetačních prvků opevnění koryt, včetně odstraňování narušené vegetace.

Poznámka: V posledních letech se vyskytuje četné kritiky se strany pracovníků v oblasti péče o životní prostředí zaměřené na projekty popř. realizaci úprav toků v krajinně exponovaných oblastech, např. v kontaktu s přírodními rezervacemi nebo chráněnými krajinnými oblastmi. Snahou pracovníků Povodí je vždy minimalizovat rozsah zásahu do prostředí, musí však plnit i své povinnosti správce. Při zveřejňování různých stanovisek v denním tisku, jak je dnes obvyklé, se zřídka vyskytují argumenty, opírající se o zákon o vodách nebo širší celospolečenská a ekonomická hlediska. Obvyklý je požadavek ponechat tok v původním stavu, což z hlediska zákona o vodách lze pouze v případech, kdy nedochází ke škodám. Pokud by se přesto takové řešení přijalo, bylo by nutno správci toku na účet ochrany prostředí přidělit prostředky pro náročnější a nákladnější údržbu, opravy popř. i pro náhrady škod.

Obdobně jako u vodních toků jsou hlediska prostředí závažná i u vodních děl na tocích. Vzhledem k tomu, že zejména u velkých vodních děl popř. soustav jsou vzájemné vlivy vodního díla a prostředí velmi složité, náročnost problematiky se projevuje nejen ve stadiu projektu, ale po dlouha léta provozu vodních děl. Rovněž estetické hodnoty vodních děl jsou zpravidla významné. Střety s dalšími zájmy prostředí jsou tu větší než v případě úprav vodních toků, protože větší jsou i dopady vyplývající z existence a provozu vodních děl. Soustavným využitím zkušeností z provozu, ať již se jedná o vodohospodářský provoz (včetně speciálních manipulací), teplotní a zimní režim či provoz technický, lze významně přispět k rozvoji pozitivních účinků na prostředí (nad rámec plánovaných funkcí) a omezit negativních účinků. Některé účinky je obtížné předvídat v etapě projektové přípravy díla, např. rozvoj eutrofizace, aktivizace sesuvních území, vhodné manipulace pro vypouštění cteplené vody do toku pod nádrží atd. V takových případech provoz, řízený na vysoké odborné úrovni, se stává aktivním činitelem v péči o prostředí.

Zobecnění provozních zkušeností spolu s teoretickými rozbory přispívá k objektivizaci provozních činností na vodních dílech. Vysledkem takové náročné práce může být např. numerický model, na základě něhož se v rámci vodohospodářského dispečinku příslušný proces řídí. Příkladem poměrně velkorysého přístupu bylo zpracování modelu řízení zimního provozu na labské vodní cestě.

Poznámka: Na estetické působení vodního díla, jehož výstavba byla vyvolána naléhavými potřebami společnosti, zpravidla existují různé názory (včetně extrémních). Nelze totiž předpokládat, že pro milovníka původního údolí toku může být přijatelná i velmi zdařilá a esteticky působivá varianta nádrže a přehrady. Tu nepomůže úspěšná snaha o začlenění díla do krajiny, omezení

negativních dopadů na nezbytné minimum ani konstatování reálných efektů, ne-  
zbytných pro rozvoj společnosti.

#### LITERATURA

1. Směrnice MLHV ČSR č.7/1977 o evidenci a bilančním vyhodnocování zásob a ja-  
kosti povrchových a podzemních vod.
2. Zásady státní vodohospodářské bilance. Věstník MLHV ČSR 4.20/1978.
3. Nařízení vlády ČSR č.27/1975 Sb. o ochraně před povodněmi.
4. Šilar, J.: Právní předpisy o vodách. SZN Praha, 1986.
5. Šembera, J.: Systém řízení vodního hospodářství. SZN Praha, 1987.

## 8. DODATKY

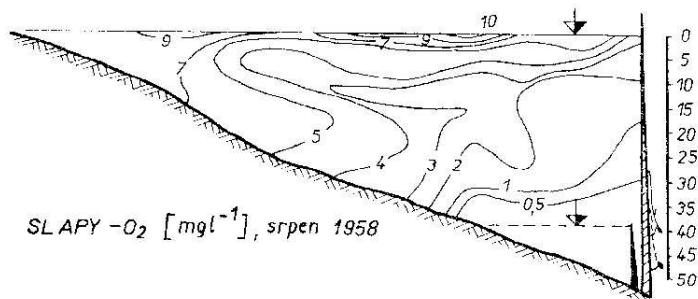
### A.1 RIZIKA VÝSKYTU STAVU S NEDOSTATEČNÝM KYSLÍKOVÝM NASYCENÍM VODY

V hospodářsky vyspělých zemích, zpravidla husté zaledněných, s intenzivní zemědělskou výrobou, dochází k zatížení vody v tocích, jezových zdržích a nádržích znečišťujícími látkami, a proto je při navrhování a provozu vodních děl nutno řešit problematiku jakosti vody. I při důsledném čištění odpadních vod se do toku dostává značné množství dusíkatých, fosforečných, draselných aj. láttek, hlavně smyvy ze zemědělské půdy, ale také vlivem zbytkových láttek v čistěných vodach popř. z jiných zdrojů. V procesu samočištění při rozkladu vyšších organických láttek dochází ke spotřebě kyslíku, který je kontinuálně doplněn difuzí v oblasti hladiny. Tam, kde je zvýšené zatížení vody znečišťujícími látkami a zároveň jsou ztížené podmínky pro saturaci vody kyslíkem z ovzduší, dochází za vhodných podmínek (stojatá voda, zvýšená teplota atd.) k poklesu nasycení  $O_2$  – s nepříznivým dopadem na biologickou hodnotu vodního prostředí.

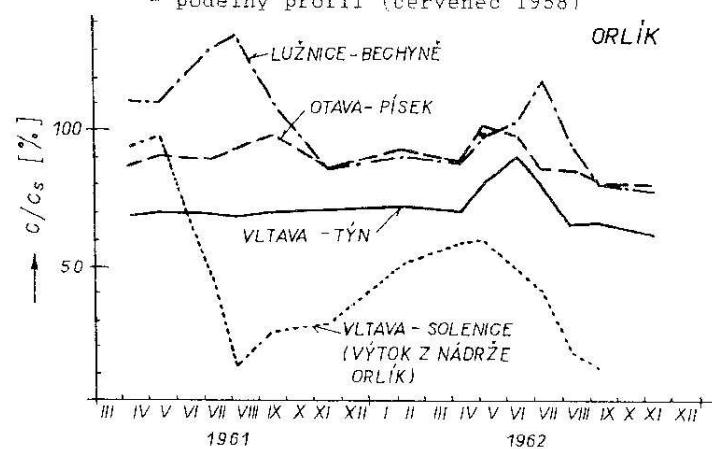
Zvýšené množství živin ve vodě vede při dostatku sluneční energie (v letních až podzimních měsících) k rozvoji vodní rostlinné hmoty (eutrofizace), která se rovněž uplatní v kyslíkovém nasycení vody. V průběhu dne vlivem fotosyntézy dochází k zvýšení koncentrace  $O_2$ , (často až k přesycení) v noci naopak k poklesu.

V jezových zdržích přispívá k vytváření kritických situací z hlediska koncentrace  $O_2$  v teplých letních málovodních obdobích zejména zaústění odpadních vod, tedy lokální nárůst znečištění.

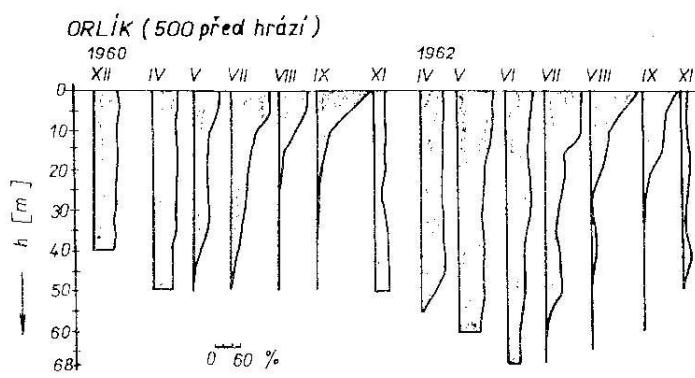
V nádržích, zejména při větší hloubce, se vytváří teplotní stratifikace. Přitékající voda, obsahující znečišťující látky, se zejména při letní stratifikaci zasouvá při dně do nádrže a vlivem rozkladních procesů se výrazně snižuje koncentrace  $O_2$  v hlubších zónách nádrže (obr. A.1). Pokud vtok do výpustných potrubí přehrady popř. na turbíny VE je rovněž ve větší hloubce, odtéká do toku



Obr. A.1 Nasycení vody kyslíkem v nádrži Slapy – podélný profil (červenec 1958)



Obr. A.2 Casovy průběh nasycení vody kyslíkem na přítocích do nádrže a při výtoku z nádrže Orlik



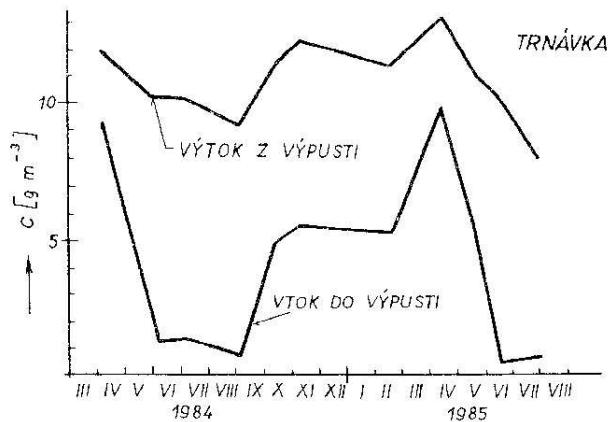
Obr. A.3 Hloubkové rozvrstvení nasycení vody kyslíkem v nádrži Orlik a jeho změny s časem

pod vodním dílem voda se sníženým obsahem kyslíku (obr. A.2).

Se změnou teplotních poměrů v nádrži v průběhu roku se mění i rozdělení nasycení kyslíkem (obr. A.3). Ke kritickým situacím z hlediska vypouštění vody s nedostatkem  $O_2$  tedy dochází pouze v určitém období roku, nejčastěji v červenci až září (popř. i v říjnu).

I když vztah mezi běžně sledovanými ukazateli znečištění vody (zejména BSK, CHSK atd.) a nasycením kyslíkem není jednoznačný, je obsah rozpuštěného kyslíku významným ukazatelem biologické hodnoty vodního prostředí.

Znečištěné řeky se vyznačují malým kyslíkovým nasycením resp. značnými kyslíkovými deficitami. Při nedostatečném kyslíkovém nasycení může dojít k vážným poruchám hydrobiologického života v tocích. V zatížených tocích obecně rozlišujeme mezi aerobním a anaerobním stavem. Aerobní procesy nastávají, je-li k dispozici rozpuštěný kyslík. I anaerobní bakterie potřebují kyslík, ale odnímají ho jiným látkám ve vodě, jako jsou sulfáty, nitráty, konečně následuje hnití. Jako mezni nasycení kyslíkem mezi aerobním a anaerobním stavem se bere koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě asi  $1,5 \text{ g m}^{-3}$  ( $O_2$ ). Samočisticí schopnost toku je u aerobních stavů mnohem vyšší než u anaerobních. Doba potřebná k odbourání určitého znečištění je např. u vody teplé  $20^\circ\text{C}$  při anaerobním stavu asi pětkrát delší než při stavu aerobním. Pro vody užívané k pitným účelům je rovněž potřebné dostatečné nasycení kyslíkem. Nedostatečné kyslíkové nasycení působí nežádoucí chutové změny, zhoršuje se i pachové vlastnosti (voda obvykle zapáchá po sírovodíku). Intenzivní aeraci lze z vody nežádoucí pachové i jiné látky odstranit.



Obr. A.4 Časový průběh nasycení vody kyslíkem ve vtoku do výpusti a ve výtoku z výpusti nádrže Trnávka

Nasycení vody kyslíkem je rovněž podmínkou života ryb v tocích. Pro ryby kaprovité nebo úhoře je potřebné minimální nasycení vody kyslíkem  $3,5 - 4 \text{ g m}^{-3}$  ( $O_2$ ), pro pstruhy a lososy je životní minimum  $6 - 7 \text{ g m}^{-3}$  ( $O_2$ ).

Na vodních stavbách dochází zejména při přepadu vody, někdy i při výtoku výpusti, k provzdušnění vodního proudu a při vlnových podmínkách i k sycení kyslíkem. Jednoduchými úpravami je možno popř. ovlivnit procházející

hydraulické jevy (přepad vody, tlumené kinetické energie aj.) tak, aby se dosáhlo účinného nasycení vypouštěné vody kyslíkem a zahránilo se vzniku kritických stavů.

Maximální ekologická ochrana je povinností inženýra-vodohospodáře, který má při výstavbě vodních děl a při zásazích do režimu toků zpravidla vždy v rukou možnosti nasycení vody kyslíkem účinnou aerací. Pro život ryb je rovněž nebezpečný i jejich delší pobyt ve vodě přesycené kyslíkem.

## A.2 PROVZDUŠNĚNÍ VODNÍHO PROUDU

### 2.1 ZPŮSOBY PROVZDUŠNOVÁNÍ

K provzdušnění vodního proudu dochází např.: 1 - rozpadem leticího vodního paprsku, 2 - při nadkritickém proudění na skluzech a přelivných plochách, 3 - ve virech vodního skoku a při dopadu paprsku na hladinu, 4 - přisávacím účinkem vodního proudu a v místech, kde dochází ke vzniku podtlaků, 5 - při přechodových jevech proudění v uzavřeném profilu. Oxygenační účinek jednotlivých způsobů aerace je ovšem různý. Z hlediska chemismu a biologie vody je aerace vždy prospěšná, z technického hlediska však musíme znát její hydraulické důsledky (např. v uzavřených profilech vlečení vzduchových pytlů vývolává pneumatický a hydraulický ráz, provzdušněný nadkritický proud nabývá na objemu a zvětšuje prtočnou výšku atd.).

Provzdušnění vodního proudu patří do oblasti mechaniky dvoufázového proudění kapalina - plyn. Vzájemné objemové vztahy vzduchu a vody vyjadřujeme objemovou koncentrací vzduchu, objemovou koncentrací vody a poměrným objemovým průtokem vzduchu.

Objemová koncentrace vzduchu ve vodě je poměr celkového objemu vzduchu  $V_a$  k celkovému objemu směsi vody a vzduchu  $V + V_a$ , tedy  $C = V_a / (V + V_a)$ . Objemová koncentrace může nabývat hodnot v intervalu  $C(0,1)$ . Při stejných rychlostech obou složek v pásmu provzdušnění vody můžeme nahradit objemy vzduchu a vody  $V_a$ ,  $V$  objemovými průtoky vzduchu a vody,  $Q_a$ ,  $Q$ . Funkce "a" se vztahuje k plynné složce. Potom je

$$C = \frac{Q_a}{Q_a + Q} \quad (A.1)$$

Objemová koncentrace kapalné složky bývá u provzdušněné vody nazývána vodním součinitelem

$$\omega = \frac{Q}{Q_a + Q} \quad (A.2)$$

Průměrný průtok vzduchu ve vodě značíme

$$\beta = \frac{Q_a}{Q} \quad (A.3)$$

Vzájemné vztahy jsou následující:

$$\begin{aligned} \omega &= 1 - C & \omega &= \frac{1}{1 + \beta} \\ \beta &= \frac{C}{1 - C} & \beta &= \frac{1 - \omega}{\omega} \end{aligned} \quad (A.4)$$

$$C = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad C = 1 - \omega r \quad (A.4)$$

Rovnice průtoku vody v provzdušném vodním proudu potom je

$$Q = \omega S v \quad (A.5)$$

Objemový průtok plynné složky (vzduchu)  $Q_a$  a tedy i poměrný průtok  $\beta$  závisí na tlaku v zvažovaném místě. V místě s tlakovou výškou  $x$  je

$$\beta = \epsilon \beta_b \quad (A.6)$$

kde  $\beta_b$  je poměrný průtok vzduchu při atmosférickém tlaku,  $\epsilon = h_b / (h_b + x)$  je součinitel stlačení při uvažování izotermické změny stavu, tj.  $Q_{ab} \cdot h_b = Q_a \cdot (h_b + x)$ . Index b značí atmosférický stav,  $h_b$  je výška atmosférického tlaku (v m vodního sloupce  $h_b = p_b / \rho g$ ).

Specifická hmotnost směsi (při tlakové výšce x) je

$$\rho_m = \frac{\rho_Q + \rho_e Q_e}{Q + Q_a} = \frac{\rho}{1 + \beta} \left( 1 + \frac{\rho_a \beta}{\rho} \right) \approx \frac{\rho}{1 + \beta} \quad (A.7)$$

kde druhý člen v závorce má hodnotu řádově tisícin prvního a lze ho zanedbat.

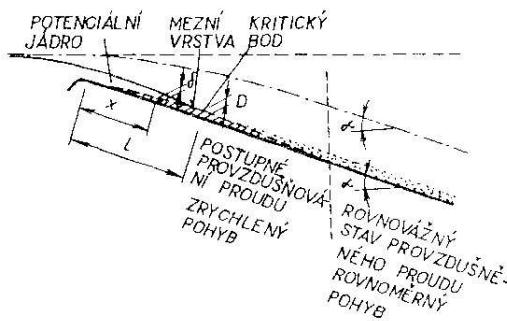
## 2.2 NADKRITICKÉ PROUDĚNÍ

V korytech o velkých sklonech dochází k provzdušnění vodního proudu jeho rozrušením. Provzdušnění závisí na intenzitě turbulence, jak se vytváří v mezní vrstvě. K provzdušnění začíná docházet, když příčné složky rychlosti v blízkosti hladiny jsou dostatečně velké, aby mohly způsobovat vymršťování jednotlivých vodních částeček do vzduchu, které vlivem tíže opět padají dolů. Při tom se rozdělí vodní částice na kapky a kapičky a současně se strhává do vodního proudu vzduch, který se vlivem turbulentní výměny rozdělí do celého průtočného profilu. Vzduch začne pronikat do vodního proudu, jakmile mezní turbulentní vrstva pronikne celou hloubkou proudu a když průtočná rychlosť překročí minimum 3 až  $6 \text{ ms}^{-1}$ . Turbulentní mezní vrstva (viz obr. A.5) prostoupi celou hloubku proudu. To se stane v bodě začátku provzdušňování, jehož polohu lze podle Bauera určit závislostí mezi tloušťkou mezní vrstvy  $\delta$ , vzdáleností od počátku  $l$  a lineárním rozdílem drsnosti  $k$ .

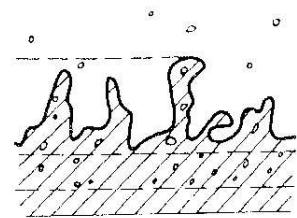
$$\frac{\delta}{l} = 0,0175 - 0,0025 \log \frac{l}{k} \quad (A.8)$$

Provzdušňování je nejdříve patrné podél stěn koryta, kde vlivem turbulence při stěnách je rovněž větší koncentrace vzduchu než uprostřed toku i v plně provzdušném proudu. Rovněž pilíře v korytě nebo na přelivné ploše přispívají ke zvětšování provzdušnění.

Provzdušněním nadkritického vodního proudu se jako první zabýval R. Ehrenberger (1926), který laboratorní výsledky dodatečně ověřoval v přírodě. Po něm se touto problematikou zabývala řada badatelů. Důkladný laboratorní výzkum provedli L. G. Straub a A. G. Anderson. Průtok na skluzu se dělí na horní oblast (viz obr. A.6), která obsahuje vymršťované vodní kapky ve vzduchu a dolní oblast, představující turbulentní vrstvu proudění, ve které jsou suspendovány vzduchové bublinky. Koncentrace vzduchu ode dna stoupá a blíží se hodnotě  $C = 1$  volné atmosféry.



Obr. A.5 Schéma mechanizmu provzdušňování vodního proudu



Obr. A.6 Horní a dolní oblast provzdušňování proudu ve skluzu

Pro inženýrskou praxi se jeví vhodné vztahy provzdušnění v závislosti na Boussinesquové čísle (nebo Froudově čísle) odvozené z polních měření. Tak S. L. Hall vyjádřil součinitel provzdušnění vztahem

$$\beta = \frac{1 - \omega}{\omega} = K \cdot Bou^2, \quad (A.9)$$

kde Boussinesquoovo číslo

$$Bou = \sqrt{\frac{v}{g R_h}} \quad (A.10)$$

a hydraulický poloměr (vztahující se k neprovzdušněnému proudu)

$$R_h = \frac{q}{v + \frac{2q}{b}} \quad (A.11)$$

Koefficient  $K$  stanovil Hall pro dřevěné koryto hodnotou  $K = 0,0035$ , pro betonová koryta  $K = 0,0041 - 0,0054$  a pro betonové koryta s četnými směrovými změnami  $K = 0,0104$ . Hallova experimentální koryta patřila do kategorie úzkých skluzů, tj. s šírkou menší než pětinásobek hloubky. Vliv stěnové turbulencie, který se brzy rozšíří po celé šířce skluzu, vede k intenzivnějšímu provzdušnění než u skluzu s převládajícím šífkovým rozměrem.

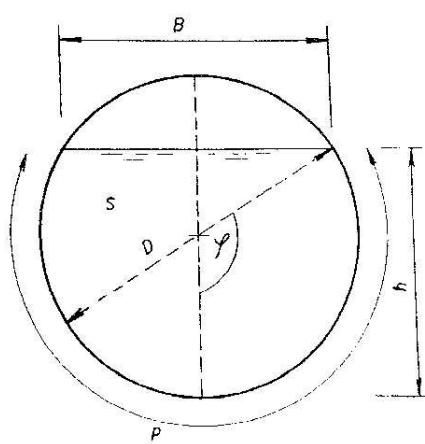
P. Volkart zkoumal provzdušnění nadkritického toku v kruhovém průtočném profilu a pro střední koncentraci vzduchu udává vztah (označení viz obr. A.7).

$$C = 1 - \omega = 1 - \frac{1}{0,02 (Bou - 6)^{1,5} + 1}, \quad (A.12)$$

kde Boussinesquoovo číslo vztahné k průtoku samotné vody je

$$Bou = \sqrt{\frac{v}{g R_h}} = \sqrt{\frac{512 Q^2 \cdot \varphi}{g D^5 (2\varphi - \sin 2\varphi)^3}} \quad (A.13)$$

Vztahy geometrických veličin plynou z obr. A.7.



$$\varphi = \arctg \frac{2}{D-2h} \cdot \sqrt{h(D-h)}$$

$$B = D \cdot \sin \varphi = 2 \sqrt{h(D-h)}$$

$$S = \frac{D^2}{8} (2\varphi - \sin 2\varphi)$$

$$R_h = \frac{S}{P} = \frac{1}{4} \cdot \frac{D(2\varphi - \sin 2\varphi)}{2\varphi}$$

$$Fr = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S^3}} = \sqrt{\frac{512 Q^2 \sin \varphi}{g D^5 (2\varphi - \sin 2\varphi)^3}}$$

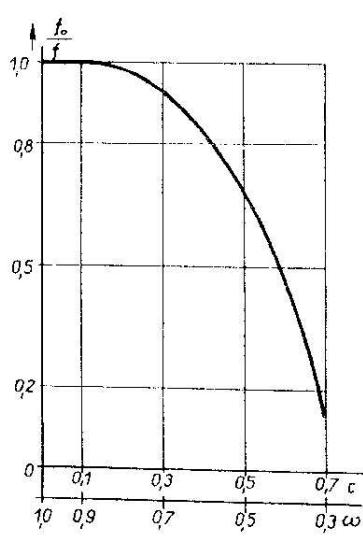
$$Bo = \frac{v}{\sqrt{g R_h}} = \sqrt{\frac{512 Q^2 \varphi}{g D^5 (2\varphi - \sin 2\varphi)^3}} = Fr \sqrt{\frac{\varphi}{\sin \varphi}}$$

Obr. A.7 Schéma geometrických a hydraulických charakteristik kruhového průtokového profilu

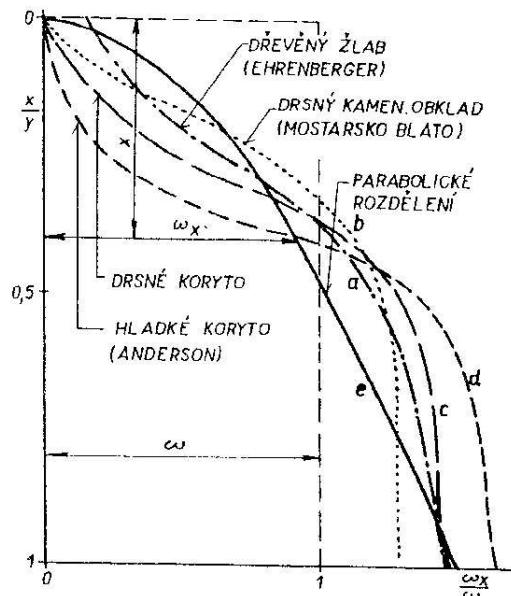
J. R. Wood ukázal, že rozdělení rychlosti provzdušného proudu je v podstatě shodné s rozdělením rychlosti neprovzdušného proudu; udává vztah

$$\frac{v}{v_{c90}} = \left(\frac{y}{y_{c90}}\right)^{1/6,3} \quad (A.14)$$

kde  $v_{c90}$ ,  $y_{c90}$  je rychlosť a hloubka proudu, kde koncentrace vzduchu je 90 % ( $C = 0,9$ ).



Obr. A.8 Součinitel tření provzdušného vodního proudu (podle Wooda)



Obr. A.9 Rozdělení vodního součinitele  $\omega$  po svislici v korytech o různé drsnosti

Proniknutí vzduchu ke stěnám a dnu způsobuje zmenšení tření, poněvadž se provzdušněním zmenšuje hmotnost proudící směsi. Rovněž se vzhledem plochy po obvodu žlabu, kterou zaujímá vzduch, se zmenšuje plocha mezi vodou a stěnami, vyvolávající turbulenci. Wood sestavil grafickou závislost (obr. A.8) součinitele tření provzdušného proudu  $f_o$  a pro samotnou vodu  $f$ . Vztah mezi Darcy-Weissbachovým součinitelem tření a např. Manningovým drsnostním součinitelem plyne z rovnice ztrát

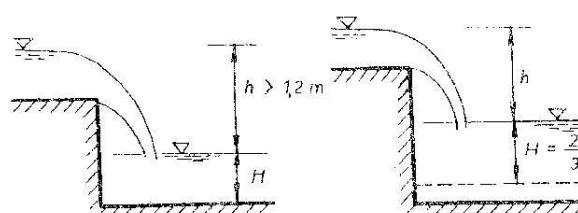
$$f = \frac{8 \cdot g n^2}{R^{1/3}} \quad (\text{A.15})$$

Na obr. A.9 je zakresleno rozdělení vodního součinitelů  $\omega$  po svislici pro dřevěný Ehrenbergerův žlab (křivka "a"), pro koryto Mostarsko Blato s drsným kamenným obkladem (křivka "b"), pro drsné a hladké koryto podle Andersonových měření (křivky "c" a "d") a pro parabolické rozdělení (křivka "e").

### 2.3 PŘEPAD VODY S VOLNÝM PADEM PŘEPADAJÍCÍ VODY

Při přepadu vody hlavně na pohyblivých jezech přichází přepadající paprsek do kontaktu se vzduchem zhora i zdola (při dobrém zavzdušnění), dopadá na hladinu dolní vody ve vývaru, částice vody se spolu se strhávaným vzduchem poňoují do hloubky a tím se vytvářejí podmínky pro přestup vzdušného kyslíku do vody.

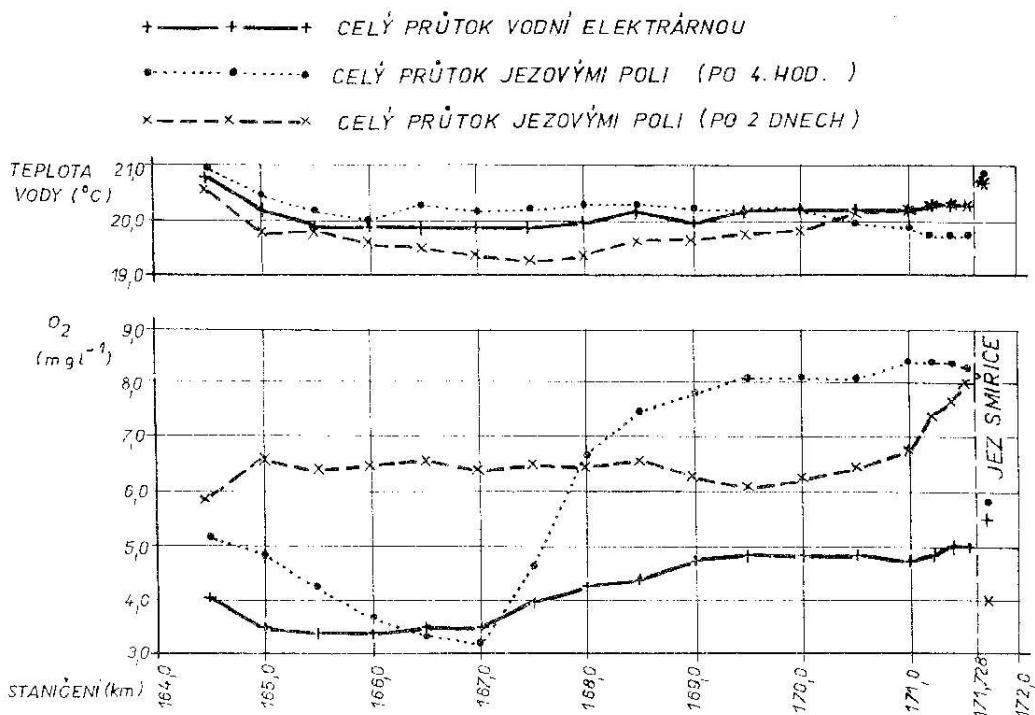
Efekt provzdušnění závisí vedle průtoku (přesněji průtoku na 1 m šířky  $-q$ ) jednak na rychlosti dopadu vodního proudu, tj. v zásadě na spádu, jednak na hloubce vody ve vývaru, přesněji řečeno na tom, zda sestupný proud před utlumením ve vodním polštáři nebude narušen dnem vývaru (požadavek dostatečné hloubky). Schematicky je jev znázorněn na obr. A.10. Problematikou se zabývali zejména P. Novák a H. Nakasone, kteří na podkladě široce koncipovaných experimentů dospěli k empirickým vztahům pro stanovení poměrného přínosu jezu k nasycení kyslíkem. Uzkuje se, že k dosažení významného efektu stačí hodnota  $h > 1,2$  m (obr. A.10) a hloubka dolní vody  $H = 2/3 h$ ; účinnější je několik stupňů za sebou (kaskáda) než jediný vysoký stupeň. Rovněž omezení délky  $L$  prostoru provzdušňování snižuje efekt aerace.



Obr. A.10 Schéma aerace vody přepadajícím paprskem vody do vývaru

Experimentální manipulace na jezech na Labi (Brandýs nad Labem, Smifice) prokázaly, že nejvyšší koncentrace  $O_2$  v dolní vodě se dosáhne rozdělením přepadající vody na celou šířku jezu (v podstatě rovnoměrně všemi jezovými poli). Naopak, pokud se veškerý průtok toku zpracovává ve vodní elektrárni v komplexu zdymadla, je nasycení vody kyslíkem pod vodním dílem minimální (v teplých málovodních obdobích může popř. dojít ke kritickému stavu).

Při dlouhodobější manipulaci na jezu ve prospěch nasycení kyslíkem je možno dosáhnout zlepšení stavu na delším úseku toku popř. v niže ležící jezové zdrži (obr. A.11).



Obr. A.11 Koncentrace  $O_2$  pod jezem Smrkice (zdrž Předměřice) na Labi (24.8. 1992)

Poznámka: Manipulace zaměřená na zvýšení koncentrace kyslíku v dolní vodě znamená ztrátu na výrobě elektrické energie v obdobích, kritických z hlediska jakosti vody, je však třeba preferovat zájmy biologické hodnoty toku.

#### 2.4 ZAVZDUŠNĚNÍ POD PAPRSKEM

Při vysokých rychlostech nadkritického proudění snadno dochází ke vzniku kavitace za nerovnostmi dna, pracovními spárami apod. Vlivem kavitační abraze dochází k porušení koryt. Účinným prostředkem k zamezení kavitace je provzdušnění vodního proudu. Bylo zjištěno, že koncentrace vzduchu v blízkosti dna asi 8 % ( $C = 0,08$ ) stačí k zamezení kavitačních účinků. Kde přirozené provzdušnění nadkritického toku nestačí tuto koncentraci u dna vytvořit, používá se umělého zavzdušnění za deflektory nebo odskoky ve dně (obr. A.12). Pro nabíraní vzduchu pod vodním paprskem udává S. Pinto vztah

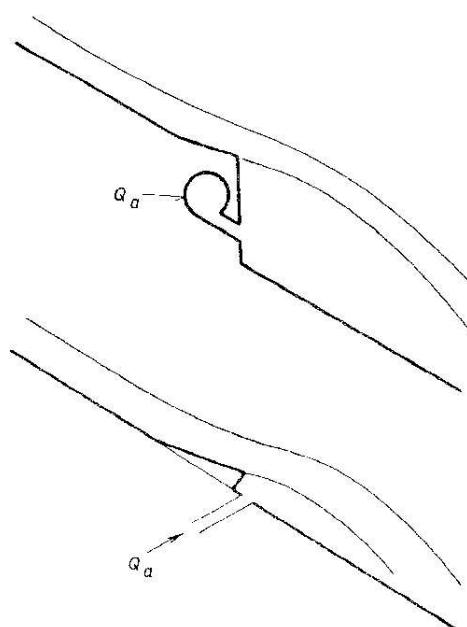
$$\beta = \frac{q}{q^*} = K \frac{l}{y} \quad (A.16)$$

( $l$  – délka vodního paprsku,  $y$  – hloubka proudu) s koeficientem  $K = 0,023 - 0,033$ . Délka dráhy paprsku ve vzduchu je kratší oproti dráze vodovodního nebo šíkmého vrhu vlivem odporu vzduchu. Na obr. A.13 ukazujeme Kawakamiho empirickou závislost dráhy paprsku bez odporu vzduchu a s odporem vzduchu.

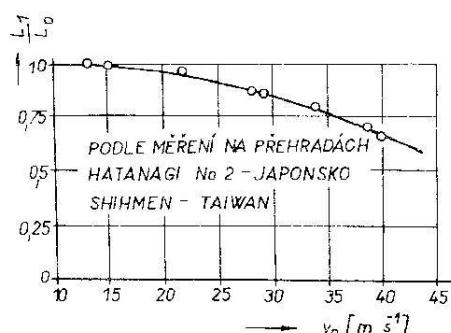
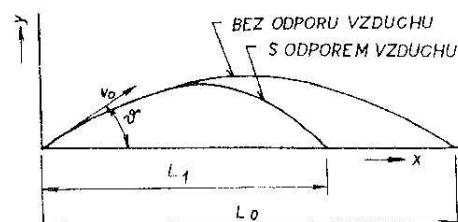
Pohybové rovnice šíkmého vrhu lze napsat

$$x = v_0 \cos \vartheta \quad (A.17)$$

$$y = -v_0 \sin \vartheta + \frac{1}{2} g t^2$$



Obr. A.12 Zavzdusnění ve dně skluzu k zamezení kavitačních účinků



Obr. A.13 Dráha vodního paprsku při letu vzduchem (šikmý vrh)

Vodní proud je provzdušňován zhora (přirozenou cestou) a zdola (uměle); vytváří dvě maxima rozdělení koncentrace vzduchu po hloubce. Vlivem turbulencí se koncentrace vzduchu v blízkosti dna zmenšuje, spodní maximum se brzy výtratí, přesto ale koncentrace vzduchu u dna proudu provzdušňovaného zdola je větší i ve značné vzdálenosti za umělým nabíráním vzduchu, než je tomu bez spodního zavzdusnění. Aby bylo spodní zavzdusnění účinným protikavitačním prostředkem, doporučuje se zajistit tímto zavzdusněním průměrnou koncentrací vzduchu aspoň 20 % až 30 %. Semenkov a Lentjájev udávají úbytek koncentrace u dna zhruba asi 0,5 až 0,8 % na běžný metr délky koryta. Aerační zařízení ve dně se proto umisťují za sebou asi po 30 m až 100 m. Ke spodnímu zavzdusnění se používá odskoku dna, drážek ve dně, zvednutí proudu deflektory apod.

## 2.5 PRECHODOVÉ JEVY PROUDĚNÍ

### 2.5.1 Obecné vlastnosti

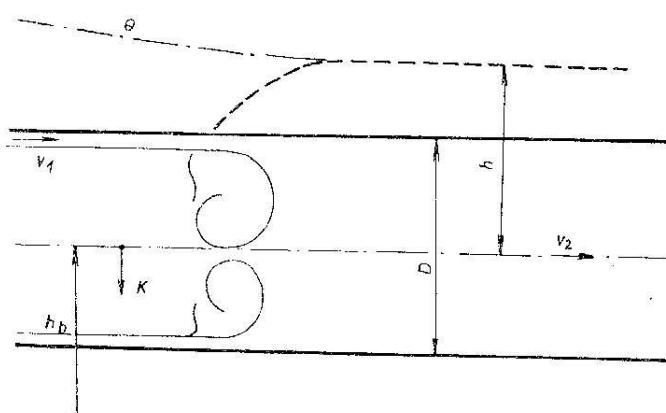
Castým zdrojem vhánění vzduchu u vodních staveb jsou přechodové jevy proudění, tj. jevy na přechodu určitého druhu dvoufázového proudění do proudění plným profilem uzavřeného profilu. Sem patří např. vodní skok v potrubí – jev na přechodu nadkritického proudění do průtoku plným profilem nebo přechodový jev tryskového paprsku do tlakového profilu, či v hydrotechnické praxi velmi využívaný prstencový skok – jev na přechodu prstencového proudění a průtoku plným profilem. Patří sem i jiné, zde nedefinované, přechodové jevy. Tyto přechodové jevy se v hydrotechnické praxi vyskytují ve vodorovném, šikmém nebo svislém potrubí – v posledním případě s výjimkou vodního skoku v potrubí, zato

se tam můžeme setkat s přechodovým jevem série paprsků nebo sektorového prouďení do plného profilu apod. Vlastností přechodových jevů je vhánět tekutou složku z prostoru před jevem do tlakového průtoku za ním a v turbulentních výrech všechny tekuté složky dokonale promísit. Přitom dochází v přechodovém jevu k dissipaci energie, ke zmenšení průtočné rychlosti a ke zvýšení tlaku.

Přechodový jev se vytvoří v místě, kde dynamická výška příslušného přechodového jevu je v rovnováze s tlakovou výškou za ním. Rovnici dynamické výšky odvodíme pomocí impulsové věty z rovnosti hybností  $J$  (po vydělení časovým intervalom) s tlakovými silami  $P$ .

$$J_1 - J_2 = P_2 - P_1 - P_3 \quad (\text{A.18})$$

Další odvození provedeme na příkladu prstencového skoku (obr. A.14).



Obr. A.14 Schéma prstencového vodního skoku

Tlakové síly působící v profilech I a II jsou

$$P_1 = (h_b - K) g \rho \pi \frac{D^2}{4} \quad (\text{A.19})$$

$$P_2 = (h_b + h) g \rho \pi \frac{D^2}{4} \quad (\text{A.20})$$

$P_3$  - je třída vlastního přechodového jevu nebo její složka u přechodového jevu ve svislému nebo šikmém potrubí.

Zde značí

$D$  - průměr potrubí,

$K$  - podtlakovou výšku (+ směrem podtlaku),

$h$  - přetlakovou výšku,

$h_b = P_b / \rho g$  - výšku atmosférického tlaku.

Vstupní hybnost (po vydělení časovým intervalom  $\Delta t$ ) je

$$J_1 = \alpha_1 \rho Q v_1 + \alpha_{1a} Q_a v_{1a} = \alpha_1 \rho Q v_1 \left( 1 + \frac{\alpha_{1a}}{\alpha_1} \frac{\rho_a}{\rho} \beta \varepsilon \frac{v_{1a}}{v_1} \right) \doteq \alpha_1 \rho Q v_1 \quad (\text{A.21})$$

a výstupní hybnost

$$J_2 = \alpha_2 \rho Q v_2 \quad (\text{A.22})$$

kde rychlosť v profilu II je

$$v_2 = \frac{\frac{Q+Q_{a2}}{\pi D^2}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2} (1 + \beta_b \epsilon_2) \quad (\text{A.23})$$

a součinitel stlačitelnosti vzduchu

$$\epsilon_2 = \frac{h_b}{h_b + h} \quad (\text{A.24})$$

$\alpha_1, \alpha_2$  - jsou Boussinesquovy součinitely nerovnoměrnosti  $(\alpha = \frac{\int_0^x u^2 dx}{v^2 x})$

Rovnici přechodového jevu pro vodorovné potrubí dostaneme dosazením příslušných hodnot do rov. A.18 při  $P_3 = 0$ . Po úpravě dostaneme

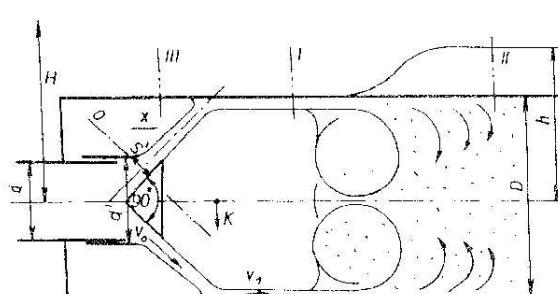
$$h = \left[ \frac{4\alpha_1 Q v_1}{\pi D^2 g} - \frac{16\alpha_2 Q^2}{g\pi^2 D^4} (1 + \beta_b \epsilon_2) \right] - K = \Theta \quad (\text{A.25})$$

Výraz na pravé straně rovnice A.25, který má rozměr výšky, vyjadřuje pohybové veličiny přechodového jevu, označíme  $\Theta$  a nazveme dynamickou výškou přechodového jevu.

Množství vzduchu vháněné přechodovým jevem do tlakového průtoku za ním lze vyjádřit vztahem

$$\beta = a(Fr_i - 1)^b \quad (\text{A.26})$$

kde  $Fr_i$  - je Froudovo číslo proudění před přechodovým jevem, konstanty  $a, b$  pak odpovídají příslušnému přechodovému jevu.



Obr. A.15 Prstencový vodní skok za rozstříkovým uzávěrem

### 2.5.2 Prstencový skok

Jestliže prstencové proudění je vytvořeno výtokem z rozstříkového uzávěru průměru  $d$  (obr. A.15),  $d' = d/\vartheta$  je průměr přesuvného rukávu uzávěru,  $X$  - otevření rukávu,  $m = X/d$  - poměrné otevření. Plocha výstupního profilu kolmo na plášt kužele, procházející koncovou hranou uzávěru při vrcholovém úhlu kužele rozstříkového uzávěru  $90^\circ$ , je

$$A' = 2\pi \frac{X}{\sqrt{2}} \left( \frac{d'}{2} - \frac{X}{4} \right) = \frac{\sqrt{2}\pi d^2}{4\sqrt{2}} m (2 - \frac{1}{m}) \quad (\text{A.27})$$

Výtoková rychlosť je potom  $v_0 = Q/(q_0 \cdot S)$ , kde součinitel  $q_0 < 1$  vyjadruje kontrakci paprsku ve výtoku a zahrnuje v sobe i vliv odchylky mezi skutečným úhlem vytýkajícího paprsku a úhlem kužeľe uzávěru. Mezi profilem O a I dojde k energetické ztrátě vlivem rozšíření výtokového paprsku s růstem poloměru výtokového kužeľe, vlivem nárazu paprsku na stěny kanálu, vlivem rozdílu hybnosti paprsku odštěpeného po nárazu na stěny směřujícího do zhlaví kanálu a odraženého zpět, třením podél stěn apod. Tuto ztrátu vyjádříme součinitelem  $\varphi_1 < 1$ , tj.  $v_1 = \varphi_1 v_0 = Q/S \cdot (q_1/q_0)$ .

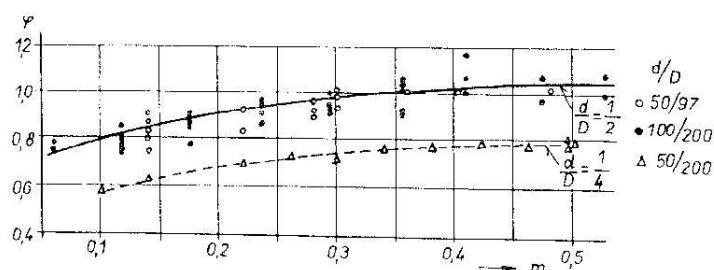
Položime-li  $(\varphi_1/q_0) = \varphi$  je

$$v_1 = \frac{4Q\varphi v}{\pi d^2 m (2-vm)\sqrt{2}} \quad (A.28)$$

a pro dynamickou výšku prstencového skoku dostaneme výraz

$$\Theta = \frac{16\alpha_1 Q^2 \varphi v}{g \pi^2 D^2 \sqrt{2} dm (2-vm)} - \frac{16\alpha_2 Q^2}{g \pi^2 D^4} (1 + \beta_2 \epsilon_2) - K \quad (A.29)$$

Závislost  $\varphi = f(m)$  je zakreslena na obr. A.16 pro  $d/D = 1/2$  a  $d_1/D = 1/4$  pro polohu prstencového skoku ve vzdálenosti  $2D$  za rozstříkovým uzávěrem.



Obr. A.16 Závislost energetických ztrát ( $\varphi$ ) na poměrném otevření rozstříkového uzávěru (m)

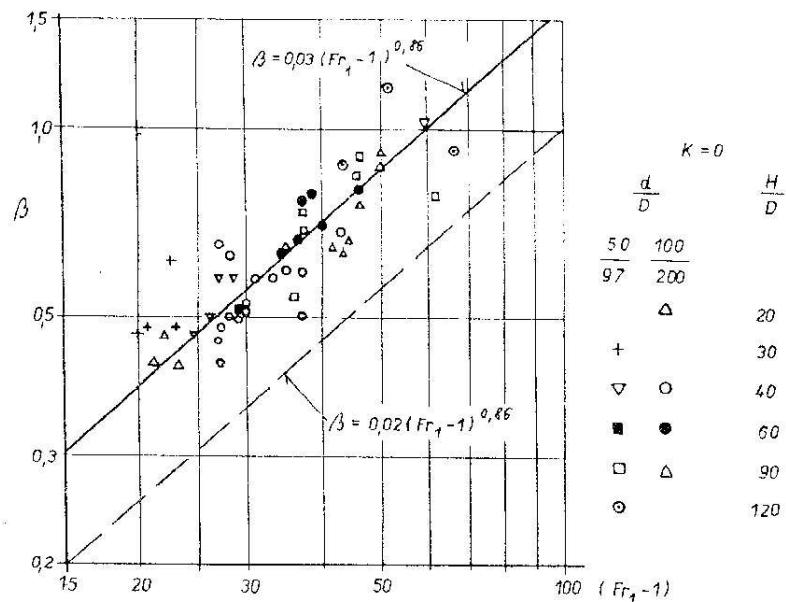
rovnovážného stavu prstencového skoku pro  $K = 0$ , zvětšuje se podtlaková výška  $K$ . Podtlaková výška se může teoreticky zvětšovat pouze na hodnotu  $|K| = h_b$ , pokud kinetická energie vodního paprsku je schopna tento podtlak vytvořit. Při určité hodnotě zmenšeného  $\beta(K)$  nemůže být dodržena hydrodynamická rovnováha skoku, výrová oblast se vytvoří bezprostředně za kuželem uzávěru, vznikne vzdutý prstencový skok. Je-li tlaková výška menší než dynamická,  $h < \Theta$ , vzdaluje se prstencový skok směrem po proudu, přičemž klesá velikost součinitelů  $\varphi$  a zmenšuje se dynamická výška  $\Theta$ . Možná délka vodorovného prstencového proudění ovšem odpovídá jeho výchozí kinetické energii. Prstencový skok se vytvoří v profilu, kde je  $h = \Theta$  nebo, nedojde-li k uvedené rovnováze, vytvoří se prstencové proudění (event. deformované) v celém dotčeném úseku potrubí.

Je-li tlaková výška  $h > \Theta$ , vytvoří se výrová oblast skoku těsně za koncovým uzávěrem, vznikne vzdutý prstencový skok. Výchozí předpoklady vzdutého skoku jsou ovšem jiné než u prostého skoku. I vzdutý prstencový skok nabírá vzduch přiváděný za kuželem uzávěru a vhání do tlakového průtoku, pokud tlak za kuželem je menší než atmosférický, tj. pokud tlaková výška za skokem nepřekročí určitou hodnotu  $h \leq h_o$ . Poměrný průtok vzduchu nabíraný vzdutým prstencovým skokem se zmenšuje s růstem  $h$  z hodnoty  $\beta$  prstencového skoku nezahlceného do

Prstencový skok se vytvoří při rovnosti výšky dynamické a tlakové  $\Theta = h$ . Podtlaková výška  $K$  je závislá na poměrném průtoku vzduchu  $\beta$  a naopak. Jestliže přivádime do prostoru prstencového proudění menší množství vzduchu, než je množství potřebné k vytvoření

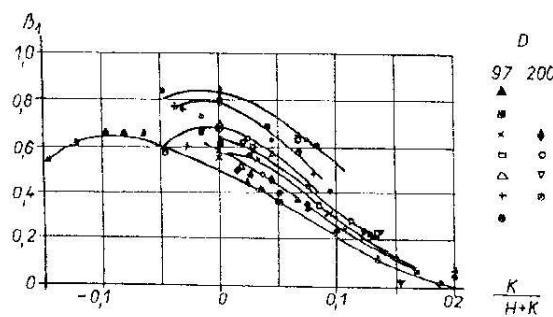
hodnoty  $\beta = 0$  při  $h = h_0$ . Množství vzduchu nabíraného prstencovým skokem popsaného typu z jádra prstencového proudění je dánovo rov. A.26, kde Froudovo číslo vyjadřujeme

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g y_1}} = \frac{\varphi^{3/2} v^{3/2} 8 Q \sqrt{D}}{d^3 [m(2-v_m)]^{3/2} \pi \sqrt{2g} \sqrt[4]{2}}$$
(A.30)

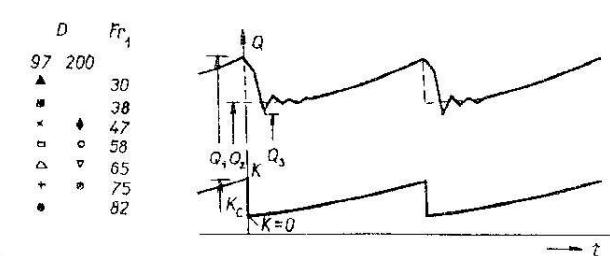


Obr. A.17 Závislost nabíraného množství vzduchu ( $\beta$ ) na Froudově čísle ( $Fr_1$ )

Experimentální hodnoty  $\beta_b = f(Fr_1)$  při  $K = 0$  jsou pro polohu prstencového skoku ve vzdálenosti  $2D$  za kuželem uzávěru při  $d/D = 1/2$  zakresleny na obr. A.17. Konstanty  $a$ ,  $b$  jsou v tomto případě  $a = 0,03$ ,  $b = 0,86$ . Při poměru  $d/D = 1/4$  leží experimentální body pod touto přímkou, ale v její těsné blízkosti. Množství vzduchu vháněného prstencovým skokem závisí na velikosti tlaku v jádru prstencového proudění před skokem a naopak. Na obr. A.18 ukazujeme závislosti  $\beta_1 = f(\frac{K}{H+K})$ .



Obr. A.18 Závislost množství vháněného vzduchu prstencovým vodním skokem na tlakových poměrech před a za skokem



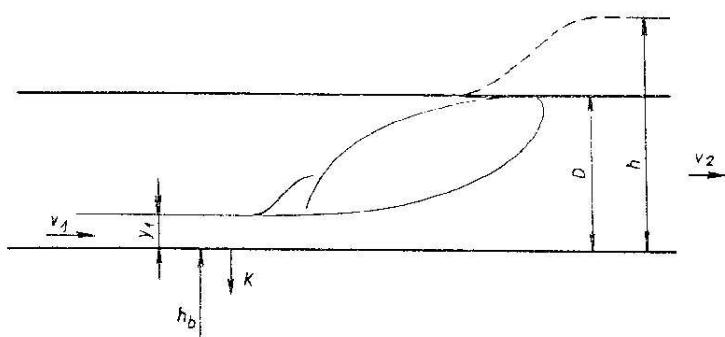
Obr. A.19 Časový průběh průtoku a podtlaku při nezavazdušném prostoru za uzávěrem (nestabilní režim)

Při nezavzdušnění prostoru za uzávěrem, je-li tlakové proudění za ním jen kratší, proniká vzduch periodicky proti proudu za uzávěr do podtlakového prostoru, který se zde vytvoří, dochází k pulzacím tlaku, průtokový režim je nestabilní. Casový průběh průtoku je zakreslen na obr. A.19.

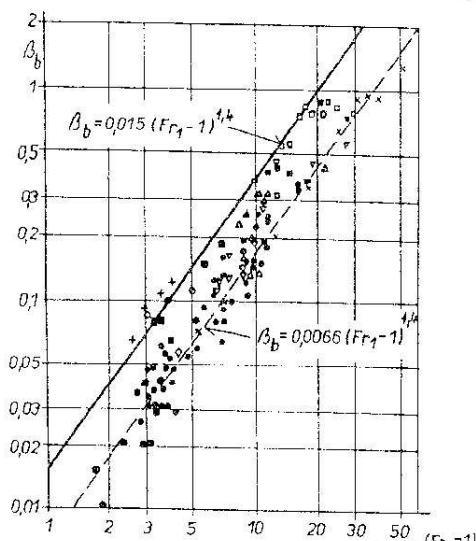
### 2.5.3 Vodní skok v potrubí

Vodní skok v potrubí je hydraulický jev na přechodu nadkritického proudění do tlakového proudění uzavřeným profilem. V hydrotechnické praxi se vyskytuje např. v odpadních štolách a krytých kanálech s proměnným sklonem dna, ve shybkcích, v přivaděčích za tabulovými nebo segmentovými uzávěry v mezipoloze

apod. Je také vhodným prostředkem k tlumení kinetické energie zejména pod skluzy s vlnovými režimy apod. Pro obdélníkový průtočný profil šířky b a výšky d, při hloubce nadkritického proudění  $y_1$  a uvažování tlakové výšky za skokem h odes dna potrubí (obr. A.20) budou tlakové síly před a za skokem:



Obr. A.20 Schéma vodního skoku v potrubí



Obr. A.21 Schéma vodního skoku v potrubí

$$p_1 = g \rho b D (h_b - K) + \frac{1}{2} \rho g b y_1^2 \quad (A.31)$$

$$p_2 = g \rho b D (h_b + h - \frac{1}{2} D) \quad (A.32)$$

a hybnosti

$$J_1 = \rho \alpha_1 Q v_1 = \rho \alpha_1 \frac{Q^2}{b y_1} \quad (A.33)$$

$$J_2 = \rho \alpha_2 Q v_2 = \rho \alpha_2 \frac{Q^2}{b D} (1 + \beta \epsilon_2) \quad (A.34)$$

S použitím impulsové věty dostaneme výraz pro dynamickou výšku skoku

$$\Theta = \frac{1}{D} \left[ \frac{\alpha_1 Q^2}{g b^2 y_1} - \frac{\alpha_2 Q^2}{g b^2 D} (1 - \beta \epsilon_2) + \frac{D^2}{2} + \frac{y_1^2}{2} \right] - K \quad (A.35)$$

Vodní skok v potrubí se vytvoří při  $\Theta > D$  pro  $\Theta = h$ . Při  $h < \Theta$  se posune po proudu až do profilu, kde je hledané rovnováhy dosaženo. Při  $h > \Theta$  vznikne vodní skok v potrubí zahlcený.

Povrchový válec skoku intenzivně nabírá vzduch v prostoru před skokem a vhání ho do tlakového průtoku za ním. Závislost  $\beta_b = f(Fr_1)$  je zakreslena na obr. A.21. Konstanty a, b lze uvést průměrnou hodnotou  $a = 0,0066$ ,  $b = 1,4$ . Pro horní obalovou křivku udají z polních měření velkých profilů lze brát  $a = 0,015$  při stejné hodnotě  $b = 1,4$ .

## 2.6 CHOD VZDUCHU HORIZONTALNÍM POTRUBÍM

Vzduch vháněný přechodovým jevem do tlakového průtoku za ním je nejprve rozptýlen v celém průtočném profilu ve formě bublin; později vlivem vzestupné rychlosti bublin se sbírá u temene horizontálního potrubí a vytváří pytle vlečené ve směru průtoku. Definujme délku pásma vyvzdušnění jako délku potrubí od zřetelného začátku průtoku plným profilem za skokovým jevem, v níž se všechny vzduchové bubliny rozptýlené po celém průtočném profilu dostanou k temeni potrubí. Vzduchová bublina, která je v místě skoku u dna potrubí, se vlivem své vzestupné rychlosti v turbulentním proudění  $u_t$  dostane ke stropu potrubí na dobu  $t = D/u_t$ , a za tuto dobu urazí v podélém směru dráhu

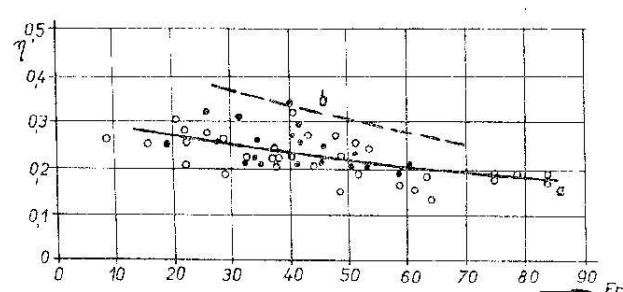
$$L = v_2(D/u_t) \quad (A.36)$$

Vzestupnou rychlosť vzduchové bubliny v turbulentním proudění v pásmu pro-vzdušněné vody vztáhneme k rychlosti osamocené bubliny v klidné vodě u

$$u_t = u \eta \quad (A.37)$$

Protože na různě velkých modelech (objektech) jsme za přechodovými jevy v potrubí i jinde pozorovali vzduchové bubliny stejné velikosti - pro normální vodu zhruba o průměru 2 - 3 mm - a pro velikost bublin průměru  $d_b = 2 - 8$  mm byla vzestupná rychlosť experimentálně zjištěna stejná  $u = 23 \text{ cms}^{-1}$ , charakterizuje vzestupnou rychlosť v turbulentním proudění součinitel  $\eta$ . Součinitel  $\eta$  vyjádřený určitou střední hodnotou mezi profilem II s vysokou turbulencí až po profil vyvzdušnění, je podíl poměrné rychlosti  $v_2/u$  a poměrné délky  $L/D$  z rovnice

$$\frac{L}{D} = \frac{1}{\eta} \frac{v_2}{u} \quad (A.38)$$



Obr. A.22 Závislost charakteristiky vzestupné rychlosti bublin (na Froudově čísle  $Fr_1$ )

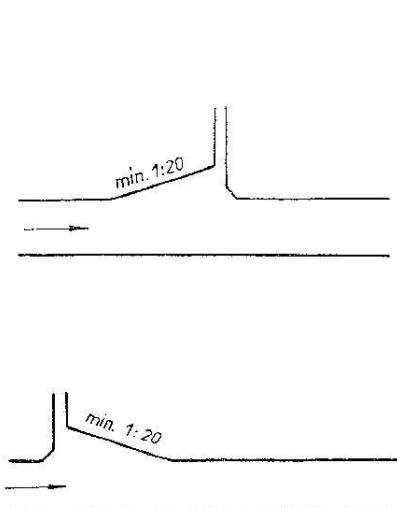
nost potrubí. Vlečený vzduch proto odstraňujeme pomocí vyvzdušňovacích komor (obr. A.23) umístěných před koncem pásem vyvzdušnění).

Při hromadění vzduchu u temene vodorovného potrubí, kdy se vzduchový pytel zarazi za zvýšenou drsností, např. sparou apod., může vzduch z pytle být

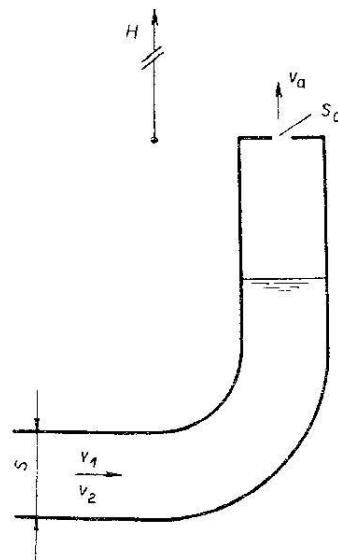
Na obr. A.22 ukazujeme závislost  $\eta = f(Fr_1)$  pro prstencový skok za výtokem z rozstříkového uzávěru (křivka a).

Pohyb vzduchových pytlů podle temene potrubí působí nežádoucí pneumatické rázy a při jejich vývěru se vytvářejí hydraulické rázy, které mohou značně ohrozit bezpeč-

odčerpáván vodním skokem v potrubí nebo může být odstraňován odštěpováním menších pytlů a jejich vlečením ve směru průtoku, nebo konečně může být celý pytel vlečen podél stropu. Velké vzduchové pytle nejsou nikdy stabilní, jejich tvar se mění. Velký uzavřený pytel se nejprve poněkud zkrátí, nabude na výšce, až hloubka vody pod pytem dosáhne hodnoty, umožňující vznik vodního skoku v potrubí a dojde k odčerpání vzduchu z pytle vodním skokem. Menší pytle, které nestačí dát podnět ke vzniku vodního skoku, se zpravidla rozdrobí v drobnější úzké pytle, které se oddělují od konce původního pytle a jsou vlečeny podél stropu.



Obr. A.23 Schéma vyvzdušňovacích objektů na potrubí



Obr. A.24 Schématisace hydraulického rázu v důsledku vývěru vzduchu z potrubí

Na obr. A.24 schématisujeme vznik hydraulického rázu v důsledku vývěru vzduchu z vodovodních potrubí. Vzduchový pytel, který vyplňuje část potrubí plochy  $S$ , uniká vzduchovým potrubím plochy  $S_a$  při tlakové výšce  $H$  (v m vod. sl.) do atmosféry rychlostí

$$v_a = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \sqrt{2gH} \quad (A.39)$$

Výtok vzduchu  $Q_a = S_a v_a = S_a \sqrt{\rho/\rho_0} \sqrt{2gH}$  vyvolá pohyb vodního sloupce sledující pohyb vzduchového obsahu rychlostí  $v_1$  z rovnice kontinuity

$$v_1 = \frac{S_a}{S} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \sqrt{2gH} \quad (A.40)$$

Rychlosť vody vytékající otvorem  $S_a$  při stejně tlakové výšce  $H$  je však jenom

$$v_v = \sqrt{2gH} \quad (A.41)$$

tedy průtočná rychlosť v potrubí je

$$v_2 = \frac{S_a}{S} \sqrt{2gH} \quad (A.42)$$

Zmenšením rychlosťi  $\Delta v = v_1 - v_2$ , ke ktorému dojde, jakmile po uniknutí veške-  
rého vzduchu temeno vodního sloupce dosáhne výtokového otvoru  $S_a$ , se vytvorí  
hydraulický ráz

$$\Delta h = \frac{\Delta v \cdot g}{g} \quad (A.43)$$

( $a$  - postupová rychlosť tlakové vlny). Je-li např. rychlosť  $v_1 = 1 \text{ ms}^{-1}$ , zmene-  
se na  $v_2 = v_1 \sqrt{\rho_a / \rho} = v_1 / 27 = 0,04 \text{ ms}^{-1}$ . To vyvolá rázovou přetlakovou výšku  
 $\sim 100 \text{ m}$  vodního sloupce. Jsou známy případy vážných poruch tlakových potrubí  
a štol, které byly vyvolány právě těmito jevy při nesprávném posouzení chodu  
vzduchu. Jestliže voda proudí částečně plným potrubím (štolou) o volné hladině,  
pak k průtoku vzduchu potřebného např. k provzdušnění nadkritického prou-  
dění o volné hladině musíme přiřídit ještě transport vzduchu mezi volnou hladinou  
a stropem štoly, který je způsoben jednak vlečnou silou vodní hladiny,  
jednak momentovým přenosem vodních částeček. Nabíráním vzduchu do nadkritické-  
ho pravidlení se vytvářejí poklesy tlaku v průtoku vzduchu vzduchovou vrstvou  
a tedy zvýšení průtočné rychlosťi vzduchu. Rychlosť vzduchu při vodní hladině  
je značně větší, než je střední rychlosť vody, rovněž rozdělení rychlosťi ve  
vzduchové vrstvě je jiné než rozdělení rychlosťi ve vodním proudu, daleko od  
rozdělení logaritmického.

## 2.7 ROZPAD A PAD VODNÍHO PAPRSKU

Při letu vodního paprsku vzduchem dochází velmi brzy k jeho rozpadu a  
k nabírání vzduchu jeho pádem. Délku dráhy vodního paprsku od počátku pohybu  
do místa jeho rozpadu lze vyjádřit ve tvaru

$$L_o = a Q^b \quad (A.44)$$

P. Hoření ve své studii vodorovného vrhu plochého paprsku dostal délku  $L_o$  mě-  
řenou podél osy paprsku do místa jeho rozpadu jako funkci specifického průtoku  
v místě přepadu

$$L_o = 31,19 q^{0,319} \quad [\text{cm}, \text{cm}^2 \text{s}^{-1}] \quad (A.45)$$

Pro turbulentní vodní paprsek kruhového profilu volně padající na hladinu  
v nádržce stanovil E. M. Elsayi délku paprsku do jeho rozpadu konstantami  
v rov. A.44 a = 48, b = 0,33 (tj. poněkud větší než pro vodorovný padající pa-  
prsek vlivem vertikálního snykového napětí). Zjistil rovněž, že obsah vzduchu  
 $V_a$  strženého vodním paprskem do dolní vodní nádržky roste pro dané počáteční  
Froudovo číslo  $Fr_1$  s výškou pádu paprsku až do určité hodnoty, kdy už  $V_a$  zů-  
stává konstantní. Hodnotu tohoto největšího  $V_a$  udává vztahem

$$\frac{V_a}{d^3} = 1,2 Fr_1^{1,66} \quad (A.46)$$

kde  $Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{\rho \cdot d}}$ ,  $v_1$  - je rychlosť paprsku ve výtokovém otvoru  
 $d$  - průměr paprsku

Při pádu vody šachtou, kdy je např. u šachtových přelivů vodní proud soustředěn v prstenci podél pláště šachty, dochází k nabírání vzduchu rozpadem paprsku v prstencovém proudění; podtlak, který se přitom vytvoří ve vzduchovém jádru uprostřed, vyvolává další proudění vzduchu šachtou. Nabírání vzduchu ze vzduchového jádra do prstencového proudění začíná v určitém kritickém bodě, kdy turbulentní mezní vrstva pronikne celou tloušťkou proudu. Polohu tohoto bodu můžeme stanovit obdobně jako u nadkritického proudění na skluzech. Při pádu vody šachtou v prstencovém prostoru, je-li výtok ze šachty nazahlcen, takže se žádný přechodový jev nevytváří, lze celkový průtok vzduchu proudícího v šachtě rozdělit na průtok vzduchu středním vzduchovým jádrem  $Q_{aC}$  a průtok vzduchu v prstencové vodní vrstvě  $Q_{aE}$ , tj.

$$Q_a = Q_{aC} + Q_{aE} \quad (A.47)$$

H. P. Hack stanovil při modelové studii průměrný průtok vzduchu v prstencové vrstvě  $\beta_E = Q_{aE}/Q$  vztahem

$$\beta_E = 4 [1 - e^{(m Fr_0^{4/3} - Fr^{4/3})}] \quad (A.48)$$

kde Froudovo číslo  $Fr$  se vztahuje k neprovzdušněné vodě,  $Fr_0$  - je Froudovo číslo v místě počátku provzdušnění prstencové vrstvy. Koefficient  $m = 1,8 \frac{k}{D} + 0,0108$  závisí na drsnosti pláště šachty ( $k$  - je délkový rozdíl drsnosti,  $D$  - průměr šachty). Pro celkový průtok vzduchu šachtou udává vztah

$$\beta = 0,35 + 16,09 \left( \frac{\beta_E}{1 + \beta_E} \right)^{2,68} \quad (A.49)$$

kde  $\beta = Q_a/Q$ . Je zřejmé, že u šachtových přelivů, sekundárních přivaděčů apod., je třeba počítat s velkým průtokem vzduchu. Při přechodu do zahlceného úseku může být i vháněcí kapacita přechodového jevu menší než je přítok vzduchu samotnou šachtou; potom dochází k nárazovým zpětným proryvům vzduchu vzhledu šachty.

## 2.8 SESTUPNÉ PROUDĚNÍ PROVZDUŠNÉ VODY SVISLÝM POTRUBIM

### 2.8.1 Proudění s transportem vzduchu

Rešíme nejprve případ sestupného vertikálního proudění homogenní směsi vody a vzduchu s plným transportem vzduchu ve směru proudění, tj. kdy průtočná rychlosť tento transport zajistí.

Objemovou koncentraci plynnej složky ve směsi vyjádříme při rovnoramenném transportu plynnej složky (vzduchu) s označením podle obr. A.25 ve tvaru

$$C = \frac{Q}{Q_a + Q} = \frac{\beta_b \varepsilon}{1 + \beta_b \varepsilon} = \frac{\beta_b h_b}{h_b + x^+ + \beta_b h_b} \quad (A.50)$$

Závislost výšky sloupce provzdušněné vody a tlakové výšky (v m vod. sl.) v diferenciálním vztahu je

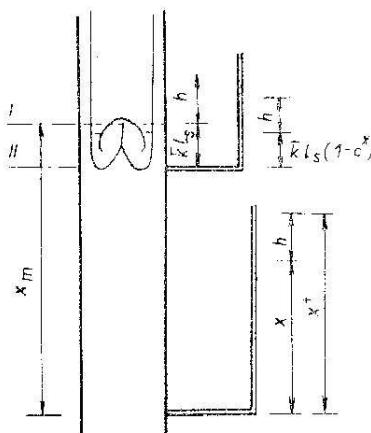
$$dx = (1 - C) dx_m \quad (A.51)$$

Jestliže v určitém místě vertikálního sestupného proudění při transportu vzduchu je tlaková výška  $h$  (tlak  $p = \rho gh$ ), potom v místě ležícím o  $x_m$  niže je tlaková výška  $x^+ = x + h$  podle vztahu

$$x_m = \int_0^{x_m} dx_m = \int_0^x \frac{dx}{1 - C} = \int_0^x \left(1 + \frac{\beta_b h_b}{h_b + x^+}\right) dx = \left[x + \beta_b h_b \ln |h_b + x^+|\right]_0^x \quad (A.52)$$

tedy

$$x_m = x + \beta_b h_b \ln \left[ \frac{h_b + h + x}{h_b + h} \right] \quad (A.53)$$



Obr. A.25 Schéma sestupného vertikálního proudění směsi vody a vzduchu

Uvažujme dále vertikální sestupné proudění směsi vzduchu a vody při transportu vzduchu se vznikem přechodového jevu dopadajícího paprsku (obr. A.25). Výška virové oblasti přechodového jevu je  $B_1$  a jí odpovídající tlaková výška

$$B = B_1 - \frac{1}{1 + \beta_b} \cdot x^+ \quad (A.54)$$

Tlaková výška v hloubce  $x_m$  je  $x + h$ .

Rovnici A.52 potom integrujeme v rozmezí

$$\int_{B_1}^{x_m} dx_m = \int_B^x \frac{dx}{1 - C} = \int_B^x \left(1 + \frac{\beta_b h_b}{h_b + h + x}\right) dx \quad (A.55)$$

tedy

$$x_m = x + (B_1 - B) + \beta_b h_b \ln \left| \frac{h_b + h + x}{h_b + h + B} \right| \quad (A.56)$$

V případě prstencového skoku lze brát  $B_1 = \frac{D}{2}$ . ( $D$  = je průměr potrubí), potom

$$B_1 - B = \frac{D}{2} \cdot \frac{\beta_b}{1 + \beta_b} \quad (A.57)$$

bereme-li v oblasti viru skoku  $x^+ = 1$ .

Stanovme polohu přechodového jevu při zaústění svislého potrubí v hloubce  $P$  pod hladinou velké nádrže (- viz obr. A.26). Výpočet provedeme podle rov. A.56, kde obecné hodnoty  $x_m$ ,  $x^+$  nahradíme konečnými  $y_m$ ,  $y^+$ . Protože je  $y^+ = P + Z_K$ ,  $Z_K$  = je výtoková ztráta, je

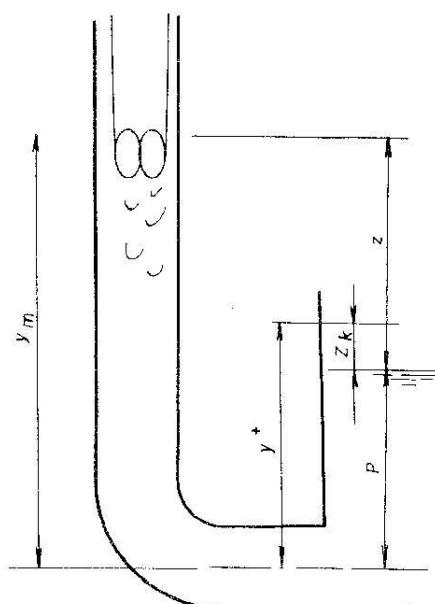
$$z = y_m - P = Z_K - h + (B_1 - B) + \beta_b h_b \cdot \ln \left| \frac{h_b + P + Z_K}{h_b + h + B} \right| \quad (A.58)$$

kde  $h = \Theta$  z rov. A.25. Kladné znaménko  $+z$  značí, že hladina provzdušněného sloupce leží nad hladinou v nádrži. Záporná hodnota  $z$  ukazuje, že dynamická výška přechodového jevu vzhledem k hloubce zaústění je tak silná, že zatlačí přechodový jev pod hladinu v nádrži.

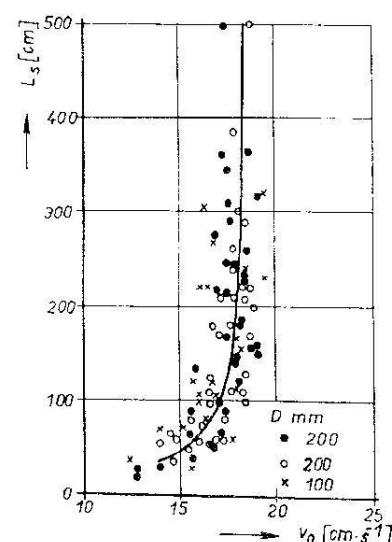
V odvození jsme předpokládali rovnoměrný transport vzduchu směrem dolů; k jeho zajištění je třeba dostatečně velká sestupná rychlosť  $v_2$  ( $\approx 0,8 \text{ ms}^{-1}$ ). Při menších rychlostech  $v_2$  se snadno malé bubliny shlukují ve velké, které mohou připadně pronikat vzhůru proti proudu.

### 2.8.2 Přirozené vyvzdušnění

Při malých průtočných rychlostech vzduchové bubliny vedené přechodovým jevem ve svislém potrubí se sestupným průtokovým režimem (pád paprsku) vyplní určitou délku potrubí, tuto délku však nepřekročí a vracejí se vzhůru proti proudu. To nazýváme přirozeným vyvzdušňováním proudu. Délka sloupce vyplněného vzduchovými bublinami závisí na posuvné rychlosti vodních a vzduchových částic  $v_g$ ; tato délka roste s růstem posuvné rychlosti (viz obr. A.27). Při dosažení  $v_g = v_{g\lim}$  se změní režim přirozeného vyvzdušnění na režim transportu vzduchu. Limitní hodnota (obr. A.27) je asi  $v_{g\lim} = 0,18 \text{ ms}^{-1}$ . K zajištění přirozeného vyvzdušnění se nesmí překročit pomyslná rychlosť asi  $Q/S < 0.15$ .



Obr. A.26 Schéma přechodového jevu při zaústění potrubí pod hladinou velké nádrže



Obr. A.27 Limitní rychlosť přirozeného vyvzdušnění

### A.3 PRESTUP PLYNU DO KAPALINY PŘI PROTOCNU SMESOVANI

Přestup plynu do kapaliny je fyzikální jev, při kterém dochází k výměně molekul plynu mezi kapalinou a plynum. Tato výměna probíhá na mezifázové ploše mezi kapalinou a plynnou fází. Jejím důsledkem je: a - vzestup koncentrace plynu v kapalné fazi, pokud kapalná faze není nasycena fází plynnou (absorpce plynu), nebo b - zmenšení koncentrace plynné faze v kapalné, jestliže kapalná faza je přesycena (desorpce). Ve vodohospodářském inženýrství je plynná faza

zpravidla reprezentována vzduchem a kapalná vodou. K přestupu kyslíku do vody dochází při každé aeraci vody.

#### Rozpustnost plynů a mechanismus přestupu

Rozpustnost plynů v kapalině závisí na povaze, vyjádřené rozdělovacím koeficientem  $k_D$ , na koncentraci příslušného plynu v plynné fázi (směsi plynů), na teplotě kapaliny (vody) a na znečištění obsaženém v kapalině (ve vodě).

Je-li kapalina vystavena plynu nebo směsi plynů, nastává kontinuální výměna molekul plynu z plynné fáze do kapalné a naopak. Jakmile je dosaženo koncentrace rozpustnosti v kapalné fázi, nenastává už žádná změna koncentrace plynu v obou fázích. Dynamická rovnováha je nazývána rozpustností nebo nasycenou koncentrací plynu v kapalině. Mezi nasycenou koncentrací  $C_s$  [ $\text{sm}^{-3}$ ] a koncentrací plynu v plynné fázi  $C_g$  [ $\text{gm}^{-3}$ ] je lineární vztah

$$C_s = k_D C_g , \quad (\text{A.59})$$

kde rozdělovací koeficient  $k_D$  je konstantou úměrnosti. Hodnoty nasycené koncentrace některých plynů ve vodě jsou tabelovány v běžné literatuře.

V tab. A.1 udáváme hodnoty nasycené koncentrace kyslíku v čisté vodě ve vzduchovém prostředí ( $C_s$  při standardním tlaku ( $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ ) v závislosti na teplotě, spolu s koncentracemi kyslíku ve vzduchu s rozdělovacím koeficientem.

Tabulka A.1

teplota vody $T^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	30	40
obsah kyslíku ve vzduchu $C_g$ [ $\text{gm}^{-3}$ ]	300	285	280	275	265	255	
nasycená koncentrace $C_s$ [ $\text{gm}^{-3}$ ]	14,6	12,8	11,3	10,2	9,2	7,6	6,6
$1/k_D$	20,5	25,2	27,5	29,9	34,9		

Hodnota nasycené koncentrace  $C_s$  může být v přírodě překročena při biologických pochodech, jako je asimilace fáz, nebo působením některé flory při vysokém obsahu chlorofylu a intenzivním záření.

Závislost nasycené koncentrace na tlaku je dáná Henryho zákonem; pro technickou potřebu ji vyjádříme ve tvaru

$$C_s \cdot p = C_{sp} \cdot p_0 \quad (\text{A.60})$$

kde  $p_0$  je standardní tlak,

$p$  – obecný tlak,

$C_{sp}$  – nasycená koncentrace při tlaku  $p$ .

Vliv teploty na nasycenou koncentraci se v inženýrské praxi vyjadřuje vztahem

$$(C_s)_{T_2} = (C_s)_{T_1} \theta (T_1 - T_2) , \quad (\text{A.61})$$

kde konstanta  $\theta$  se bere 1,024.

Podle Fickova zákona je hmotnostní tok plynu do kapaliny úměrný rozdílu koncentrací, tedy

$$\frac{dM}{dt} = k_L A (C_s - C) \quad (A.62)$$

kde  $A$  je mezifázová plocha,  $C$  - koncentrace plynu v kapalině v obecném okamžiku. Vyčleněním objemem kapalné fáze dostaneme

$$\frac{dC}{dt} = k_L \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (A.63)$$

Koeficient  $k_L$  - parciální přestupný koeficient, nazývaný též koeficientem kapalného filmu, je funkcí difuzních vlastností plynu, teploty, velikosti difundujících částic, tvaru mezifázové plochy, viskozity i chemického složení kapaliny a stupně misení kapalného media, tj. při průtočném sycení stupně turbulence. Poslední vliv se ukazuje jako zvláště významný, např. pro přestup vzdušného kyslíku hladinou kritického proudění ( $Fr = 1$ ) bylo změřeno  $k_L$  asi  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ , při difuzi vahaněným vzduchem  $k_L$  rovněž asi  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ , při rozstříkové aeraci asi  $k_L = 0,68 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ , zatímco při aeraci prstencovým skokem jsme naměřili  $k_L = (10 + 80) \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ .

Po integraci rov. (A.63) za předpokladu konstantní hodnoty nasycené koncentrace  $C_s$  během celého syticího procesu a za předpokladu konstantnosti hodnot  $k_L$  i  $A/V$  v rozmezí časového intervalu  $t$  s počáteční koncentrací  $C_1$  a konečnou koncentrací  $C_2$  dostaneme

$$\ln \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} = k_L \frac{A}{V} \cdot t = k_{L_a} \cdot t \quad (A.64)$$

Výraz

$$\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} = r \quad (A.64a)$$

se označuje jako deficitní poměr.

Výraz

$$k_L \frac{A}{V} = k_{L_a} \left[ \left( \frac{m}{s} \cdot \frac{m^2}{m^3} \right)^2 = (s^{-1}) \right]$$

se nazývá celkovým přestupovým součinitelem. Rovnici (A.64) přepišme na tvar

$$C_2 = C_s (1 - e^{-k_{L_a} t}) + C_1 e^{-k_{L_a} t} \quad (A.65)$$

Jestliže proces nasycení bude probíhat z nulového počátečního nasycení, tedy z koncentrace  $C_1 = 0$ , lze rovnici (A.65) upravit na tvar

$$\frac{C}{C_s} = 1 - e^{-k_{L_a} t} \quad (A.66)$$

( $C$  je koncentrace v obecném okamžiku). Zavedeme časovou konstantu

$$\frac{1}{k_{L_a}} = T \quad (\text{s})$$

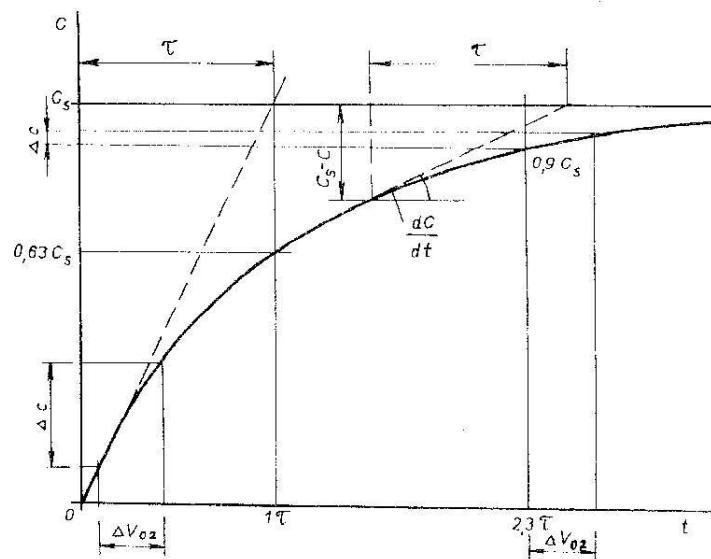
Rovnice (A.66) ukazuje časový průběh sycení.

Grafickým znázorněním funkce  $C$  v závislosti na čase  $t$  podle rovnice (A.66) je exponenciální křivka, asymptoticky se blížící hodnotě  $C = C_s$  (obr. A.28).

Vidíme, že syticí rychlosť (rychlosť přestupu)  $\frac{dC}{dt}$  klesá ze své maximální hodnoty v počátku syticího procesu (v čase  $t = 0$ ), při koncentraci  $C = 0$  až na hodnotu  $\frac{dC}{dt} = 0$  pro  $t \rightarrow \infty$ . Tangenta v počátku křivky  $C = f(t)$  rov. (A.66) vytíňá na asymptotě  $C = C_s$  úsečku  $t = r$ , neboť v rov. (A.63) je pro  $C = 0$

$$\frac{dc}{dt} = \frac{C_s}{\tau} = C_s k_{L_a}$$

(A.63a)



Obr. A.28 Časový průběh sycení vody vzduchem (kyslíkem)

Stejně tak každá úsečka mezi průsečíkem libovolné tečny ke křivce popsané rovnicí (A.66) s asymptotou  $C = C_s$  a průsečíkem svíslice v hodě dotyku s asymptotou je rovna  $t = \tau$ , jak přímo plyně z rov. (A.66)

#### Sytící účinek

Při průtočné oxidaci vody lze hmotnostní průtok rozpuštěného kyslíku ve vodě (hmotnost za jednotku času  $Q_{O_2} = \frac{dM}{dt}$ ) vyjádřit vztahem

$$Q_{O_2} = (C_2 - C_1) Q = \alpha \cdot \beta \cdot Q \cdot C_g \quad (A.67)$$

kde  $C_g$  - koncentrace kyslíku ve vzduchu,

$\beta = Q_a/Q$  - poměrný průtok vzduchu,

$Q_a$  - objemový průtok vzduchu,

$\alpha$  - stupeň využití kyslíku.

Stupeň využití kyslíku vyjadřuje poměr hmotnosti rozpuštěného kyslíku k celkovému množství kyslíku přivedeného do vody, tj.

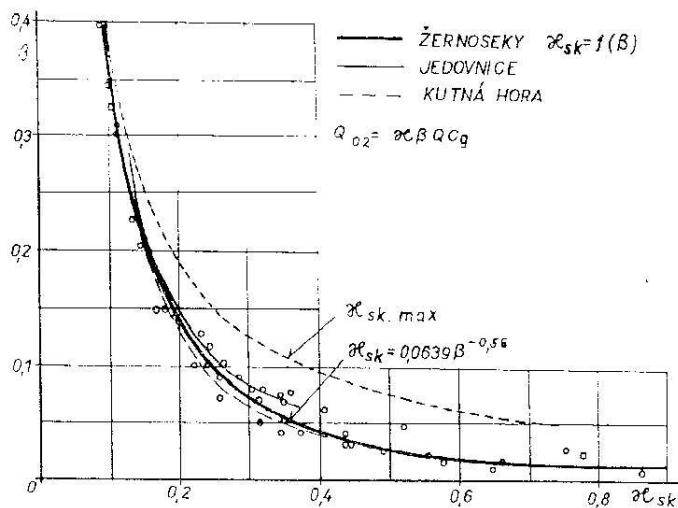
$$\alpha = \frac{(C_2 - C_1) Q t}{C_g \beta Q t} \quad (A.68)$$

Stupeň využití kyslíku je nepřímo úměrný poměrnému průtoku vzduchu  $\beta$ , závisí dále na stupni turbulence při směšování a na době styku obou fází. Je rovněž ovlivňován přítomností oxidovatelných složek ve vodě apod.

Protože maximální možné využití kyslíku je pro  $C_2 - C_1 = C_s$ , můžeme napsat výraz pro nejvyšší možnou hodnotu stupně využití kyslíku

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{C_s}{C_g \cdot \beta} \quad (\text{A.69})$$

Je zřejmé, že pro oxidační účely je ekonomicky vhodné směšovat jen s malými hodnotami  $\beta$ . Způsob směšování je tím výhodnější, čím více se závislost stupně skutečného využití kyslíku  $\alpha = f(\beta)$  blíží závislosti  $\alpha_{\text{max}} = f(\beta)$ . Na obr. A.29 je zakreslena závislost stupně využití kyslíku  $\alpha$  na poměrném průtoku vzduchu  $\beta$  podle našich měření.



Obr. A.29 Stupeň využití kyslíku aeraci při zaústění směšovací trouby do proudící vody

Kdyby celý proces sycení probíhal maximální sytící rychlosťí při  $C = 0$ , potom (rov. A.63a) by k nasycení na hodnotu  $C_s$  došlo za dobu  $r$ . Protože

$$\frac{dC}{dt} = \frac{dM}{V \cdot dt} \quad (\text{A.70})$$

je po integraci s pomocí rov. (A.63a)

$$\frac{M}{V \cdot t} = k_{L_a} C_s \quad (\text{A.71})$$

Stupeň využití kyslíku odpovídající maximální sytící rychlosťi je potom

$$\alpha_0 = \frac{k_{L_a} C_s V \cdot t}{C_g \cdot \beta Q \cdot t} = \frac{C_s k_{L_a} t}{C_g \cdot \beta} \quad (\text{A.72})$$

Vzájemný vztah skutečného stupně využití kyslíku  $\alpha$  a stupně využití kyslíku při maximální sytící rychlosťi  $\alpha_0$  je potom

$$\frac{\alpha_0}{\alpha} = \frac{C_s k_{L_a} t}{C_2 - C_1} \quad (\text{A.73})$$

nebo s použitím rovnice (A.64)

$$\frac{\alpha_0}{\alpha} = \frac{C_s}{C_2 - C_1} \ln \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \quad (\text{A.74})$$

Při čištění odpadních vod se často používá pojmu oxygenační kapacita.

Oxygenační kapacita - OC je definována jako maximální hmotnostní množství kyslíku, které může být rozpuštěno za jednotku času v jednotce objemu daného oxidačního (aeračního) zařízení naplněného čistou vodou při teplotě 10°C a normálním tlaku tj. p = 101,3 kPa, tedy z rov. (A.71)

$$OC = k_{L_a} C_s^x \quad [gO_2 m^{-3} s^{-1}] \quad (A.75)$$

kde  $C_s^x$  - je nasycená koncentrace v čisté vodě při T = 10°C,  
p = 101,3 kPa, tj.  $C_s^x = 11,3 \text{ gm}^{-3}$ .

Oxygenační kapacita vlastně vyjadřuje rychlosť přestupu kyslíku do vody za předpokladu, že jeho koncentrace v ní zůstává rovna nule.

V praktických případech sycení kapalin plyny a především jeho nejčastější aplikace - oxidace vody jde o ekonomičnost tohoto procesu. Efektivnost způsobu sycení stanovíme měrným sycícím účinkem U, který vyjadřuje poměr rozpuštěného hmotnostního množství plynu za časovou jednotku k energii spotřebované k sycení za stejnou časovou jednotku. Při oxidaci vody mluvíme o měrném oxygenačním účinku. Přitom zpravidla uvažujeme hmotnostní množství rozpuštěného kyslíku při největší sycící rychlosti. Pro průtočnou oxygenaci platí

$$U_o = \frac{(Q_{O_2})_o \cdot t}{p \cdot t} = \frac{\lambda_c \beta c_g}{\rho g H} \quad (A.76)$$

Hodnoty měrného oxygenačního účinku se v prospektech různých aeračních zařízení udávají pro maximální sycící rychlosť (rov. A.76). Pro stav odpovídající skutečnému nasycení vody (koncentraci C) je třeba skutečný měrný oxygenační účinek i hmotnostní tok rozpuštěného kyslíku vždy přepočítat pomocí rov. (A.73), (A.74), tj.

$$\frac{U}{U_o} = \frac{Q_{O_2}}{(Q_{O_2})_o} = \frac{\lambda_e}{\lambda_e o} \quad (A.77)$$

Příklad závislosti přírůstku koncentrace kyslíku ve vodě ΔC pro dodávku kyslíku AO<sub>2</sub> v příslušné době sycení za stavu nasycení vody (C) je nakreslen na obr. A.28. Názorně ukazuje skutečný efekt sycení podle nasycenosti vody v daném okamžiku.

#### Přestup plynu při sestupném souproudém proudění

Jestliže směs kapaliny a plynu proudí sestupným prouděním, zvyšuje se postupně tlak v proudící směsi a tedy i hodnota nasycené koncentrace, tj. s přibývající hloubkou se nasycená koncentrace C<sub>sp</sub> mění oproti nasycené koncentraci C<sub>s</sub> při atmosférickém tlaku p<sub>b</sub>.

Rešením příslušné diferenciální rovnice dostaneme rovnici přestupu plynu do kapaliny ve tvaru

$$C_2 = C_s A_1 \left( 1 - e^{-k_{L_a} t} \right) + C_1 e^{-k_{L_a} t} \quad (A.78)$$

kde

$$A_1 = \left[ \frac{\frac{b t}{-k_{L_a} t}}{1 - e^{-k_{L_a} t}} - \frac{b}{k_{L_a}} + 1 \right] \quad (A.79)$$

$$t = \frac{V}{Q(1+\beta_b \epsilon)} - je\ doba\ zdržení\ ve\ svislé\ sestupné\ troubě\ obsahu\ V,$$

$$\epsilon = \frac{h_b}{h_b + \frac{y^+}{2}} - je\ koeficient\ stlačení.$$

$$h_b - je\ výška\ atmosférického\ tlaku,\ (h_b = \frac{P_b}{\rho g})$$

$y^+$  - je tlaková výška na konci sestupného proudu,

$$b = \frac{V}{h_b} -$$

Přestupová rovnice (A.65) odvozená za předpokladu konstantní hodnoty  $C_s$  se liší od rovnice (A.73) získané s uvažováním proměnnosti nasycené koncentrace s tlakem (hlcubkou) pouze členem  $A_1$ , upravujícím velikost nasycené koncentrace na její efektivní hodnotu

$$C_s^+ = C_s A_1 \quad (A.80)$$

Proces sycení lze popsat stejným způsobem, jakoby celý probíhal při konstantní hodnotě nasycené koncentrace dané výrazem (A.80).

Pro praktické výpočty sycení vody vzdušným kyslíkem lze brát s dostatečnou přesností (při menších délkách sestupného proudění) také

$$A_1 = 1 + \frac{y^+}{2 h_b} \quad (A.81)$$

Hodnota  $A_1$  podle rovnice (A.81) je menší oproti hodnotě podle (A.79); při dobách zdržení asi do 5 s se liší obě hodnoty v desetinách procenta až v procentech; při delších dobách zdržení jsou už rozdíly markantnější.

#### Sycení vody vzdušným kyslíkem v přechodových jevech sestupného proudění

V aeracích zařízeních využívajících prstencového skoku jsme zjistili empirický vztah mezi celkovým součinitelem přestupu a součinitelem provzdušnění  $\beta$  ve tvaru

$$k_{L_a} = 1.1 \cdot \beta^{0.7} [s^{-1}] \quad (A.82)$$

Jestliže trouba s průtočným směšováním ústí pod hladinou vody v nádrži (tak je tomu zpravidla vždy), dojde k dalšímu sycení vody kyslíkem při vzestupném pohybu bublin; ty však už nemají koncentraci kyslíku ve vzduchu odpovídající atmosférickým podmínkám  $C_g$ , nybrž

$$C'_g = C_g (1 - \pi_1) \quad (A.83)$$

kde stupeň využití  $\pi$  (rov. A.68) se vztahuje k nasycení v troubě se sestupným prouděním. Stupeň využití kyslíku při stoupání bublin vzduchu ve vodě v klidu jsme z našich měření i z experimentu různých autorů vyjádřili orientačním vztahem (pro hloubky  $y < 4m$ )

$$\pi_2 = 0.02 + 0.3 \frac{y}{h_b} \quad (A.84)$$

Jestliže všecky průtok ze směšovací trouby prochází do velké nádrže s klidnou vodou, bude při zmenšeném obsahu kyslíku v bublinách prošlých směšovací trouby celkový stupeň využití vzdušného kyslíku

$$\pi = \pi_1 + \pi_2 (1 - \pi_1) \quad (A.85)$$

Jestliže provzdušněná voda ze směšovací trouby vtéká do proudící vody, je stupeň využití  $\alpha_2$  větší než podle empirického vztahu (A.84), a to vlivem turbulencí a vlivem sekundárního mísení; lze jej porovnat se vztahem  $\alpha = f(\beta)$  podle obr. A.27. Analyticky můžeme změnu koncentrace při vzestupném proudění z hodnoty  $C_2$  na  $C_3$  vyjádřit obdobou rov. (A.78)

$$C_3 = C_s A_2 \left( 1 - e^{-k_{L_a} t} \right) + C_2 e^{-k_{L_a} t} \quad (A.86)$$

přičemž platí ve vztahu (A.86)

$$A_2 = 1 + \frac{y^+ \rho_g}{p_b} - \frac{b t}{1 - e^{-k_{L_a} t}} + \frac{b}{k_{L_a}} \quad (A.87)$$

Jestliže dochází ke vzestupnému proudění vody i vzduchu v troubě, je hodnota stejná jako při sestupném proudění. Dochází-li ke vzestupnému proudu vzduchových bublin v nádrži s klidnou vodou, dojde k vzestupnému pohybu vodních částic obklopujících vzduchové bublinky v bublinkovém mraku. Hodnota  $b$  je potom

$$b_2 = \frac{\alpha v_b \rho_m \cdot g}{p_b}, \quad (A.88)$$

kde  $v_b$  je vzestupná rychlosť bublin (koeficient  $\alpha < 1$ ).

Velikost celkového přestupového součinitele  $k_{L_a}$  je pro následné vzestupné proudění ovšem menší než v sestupném proudu za přechodovým jevem, závisí na stupni turbulence proudění.

Je třeba podotknout, že při jednorázovém průtočném sycení, procházi-li celý průtok vody aeracním zařízením, dojde zpravidla už v sestupném proudu k plnému nasycení vody a dosycování při vzestupném proudění je bezvýznamné. Sycení ve vzestupném proudu má však podstatný význam, mísíme-li nasycený průtok aerátory s nenasyceným proudem, např. s výtokem z vodních turbín, s průtokem obíhajícím v cirkulačních žlabech úpraven vody nebo v aktivačních nádržích čistíren odpadních vod apod.

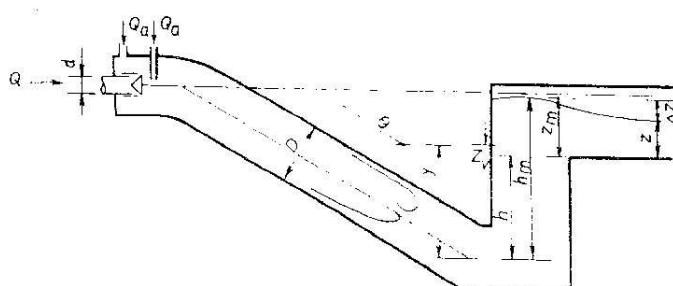
#### A.4 OXIDACE VODY NA HYDROTECHNICKÝCH DILECH

##### 4.1 OXIDACE VE VÝTOCÍCH ZE SPODNÍCH VÝPUSTÍ PŘEHRAD

Vlivem anaerobních zón v hloubce nádrží vytéká ze spodních vrstev přehradních nádrží voda s ochuzeným kyslíkovým nasycením, v dobách letní stagnace často zbavená kyslíku téměř plně. Příklad kyslíkového nasycení vý toku z nádrže Trnávka je na obr. A.4, podobně je tomu i u ostatních přehradních nádrží. Poznání dissipačních a oxygenačních vlastností přechodových jevů proudění ukázalo vhodnou cestu řešení spodních výpustí přehrad. V současné době jsme použili spodní výpusti s aerací a dissipací energie přechodovými jevy proudění na řadě přehrad. Formou přechodového jevu za regulačním uzávěrem výpusti byly řešeny buď všechny výpusti přehrady nebo výpust pro běžné průtoky, jestliže přehrada měla ještě zvláštní spodní výpusti pro velké vody. Přitom se využilo prstencového skoku (Lučina, Stanovice, Rimov, Josefův Důl, Trnávka), vodního

skoku v potrubí (České Údolí) nebo přechodového jevu tryskového paprsku (Sedlice, N. Bystrica).

Protože u přehradních výpustí je proměnný jak průtok tak spád (podle výšky hladiny v nádrži), je proměnná i dynamická výška přechodového jevu. Abychom dosáhli rovnováhy dynamické a tlakové výšky podmíňující vznik přechodového jevu, navrhli jsme úsek odpadního kanálu za výtokem z uzávěru dolů klesající tak, aby se v něm vždy vytvořil příslušný přechodový jev, tj. pro největší  $H$  a  $Q$  před jeho spodním koncem a v opačném případě na jeho začátku. Na obr. A.30 je zakresleno řešení aerační výpusti používané u sdružených přehradních objek-



Obr. A.30 Řešení aeračních spodních výpustí přehrad

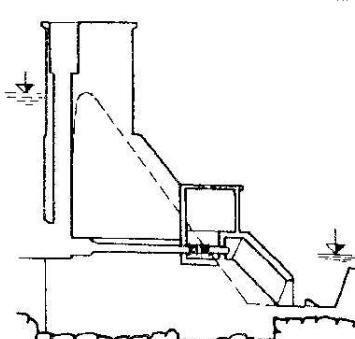
tú. Za kanálem směřujícím šikmo dolů je svislý nebo šikmo vzhůru zaústěný kanál směřující do odpadní štoly. Kanál směřující vzhůru je protékán směsi vody a vzduchu. Při výšce směsi vody a vzduchu vzešlupného proudění odvodíme výšku tlaku  $x$  (obdobně jako pro sestupné proudění - kap. 2.8.1)

$$x_m = \int_0^x \frac{dx}{1-C} = \int_0^x \left(1 + \frac{\beta h_b}{h_b + x}\right) dx = x + \beta h_b \ln \left| \frac{h_b + x}{h_b} \right| \quad (\text{A.89})$$

s konečnými hodnotami  $x_m = h_m$ ,  $x = h$  ( $h_b$  – výška barometrického tlaku). Tlaková výška  $h$  je v rovnováze s dynamickou výškou přechodového jevu. Stejným postupem vypočteme převýšení provzdušněné vody ve výtoku ze vzestupné větve výpusti nad hladinou ve štole

$$\Delta z = z_m - z \quad (\text{A.90})$$

(v rov. A.89 nahradíme  $x_m$ ,  $x$  hodnotami  $z_m$ ,  $z$ ).



Obr. A.31 Zaústění sestupného kanálu aerační výpusti do dolní vody

Při řešení aerační výpusti se sestupným kanálem na vzdušní straně hráze zaústěným přímo do dolního řečiště (příklad je na obr. A.31) je tlaková výška dána přímo výškou dolní vody spolu s příslušnou tlakovou ztrátou. Vhodným umístěním např. rozrazečů za ukončení sestupné větve můžeme zvětšení tlakové ztráty mezi sestupnou větví zmenšit event. potřebné zahlobení aeračního a dissipačního kanálu výpusti.

V tab. A.2 spolu s grafem A.4 ukazujeme příklady měření kyslíkové bilance ve vtoku do výpusti a v řečišti za výtokem z výpusti. Ukázky měření jsou z různých období za různého stavu kyslíkového nasycení vlivem eurofních pochodů v nádrži i za různého stavu chemismu vody v nádrži.

Tabulka A.2

Lokalita	Datum napuštění nádrže	měření	Teplota (°C)	C (g.m⁻³O₂)
			voda vzduch vtok	řečiště
Lučina	1975	27.10.76	8,4	2,6
		14.8.78	14	3,5
		17.6.80	12,8	4,9
		15.9.82	15,8	2,1
		19.4.83	6	12,0
		3.8.83	16,3	1,2
		31.10.83	7	8,1
		4.6.85	11	2,5
		1.7.85	16	3,4
			17	10,1
Sedlice	1927 1976	6.9.76	13,5	0,4
		24.4.78	6,5	13,5
		5.7.83	14,2	1,3
		9.5.84	16,5	0,7
		17.10.84	10,0	4,5
		8.11.84	8,0	8,4
		30.7.85	19,0	0,5
			14,5	11,1
České Údolí	1973	7.6.74		1,3
		18.11.86	5,0	8,8
Stanovice	1978	1.6.82	5,5	10,1
		30.6.82	5,1	4,7
		30.8.82	5,1	5,2
		29.9.84	5,0	12,0
		5.11.84	5,0	-1,0
		12.12.84	5,0	6,6
		14.3.85	4,0	6,0
		5.5.85	4,5	11,7
Josefův Důl	1983	9.4.85	5,0	1,2
		7.5.85	7,8	16,0
		13.6.85	8,2	8,4
		13.8.85	15,0	12,0
			25,5	9,0

Jedná se vesměs o malé nádrže, stav vody ve spodních vrstvách je silně ovlivněn např. i dešti předcházejícími měřením. Nasycení kyslikem v řečišti pod přehradou je mnohdy i vyšší než odpovídá příslušné nasycené koncentraci při atmosférickém tlaku vzhledem k jistému zvýšení tlaku v sestupném kanále aeracní vypusti. Průběh sycení je ovlivněn chemismem vody a naopak intenzivní aeraci můžeme zlepšit některé chemické vlastnosti vody vytékající z nádrží. lze odstranit nežádoucí pachové či jiné látky z vody. Zvláště velký význam mají aerační výpusti při prvním naplnění přehradní nádrže, kdy vlivem tlaku vegetačního pokryvu dochází k anaerobním procesům v nádrži a tedy ke zvýšeným nárokům na spotřebu kyslíku.

Pro srovnání oxygenačního účinku popsaných aeračních výpustí s jinými typy výpustí uvedeme např. měření (léto 1957) výpusti přehrady Slapy, kde k nabírání vzduchu docházelo v důtěm jádra paprsku za Johnsonovým uzavěrem, rozptylem paprsku během jeho letu a pádu do vývaru i ve vodním skoku. Bylo naměřeno zvýšení z  $0,8 \text{ cm}^{-3}(O_2)$  na  $5,6 \text{ cm}^{-3}(O_2)$ , tj. celkový efekt asi poloviční oproti aeračním výpustem. Má-li voda vytékající z uzavěru spodní výpusti vyšší kyslíkové nasycení, je přírust nasycení v samotném vytoku z uzavěru ještě menší. Např. při vytoku ze spodní výpusti hrazené stavitkovým uzavěrem nádrže Klabava (5.3.85) došlo ke zvýšení kyslíkového nasycení z hodnoty  $6,9 \text{ cm}^{-3}(O_2)$

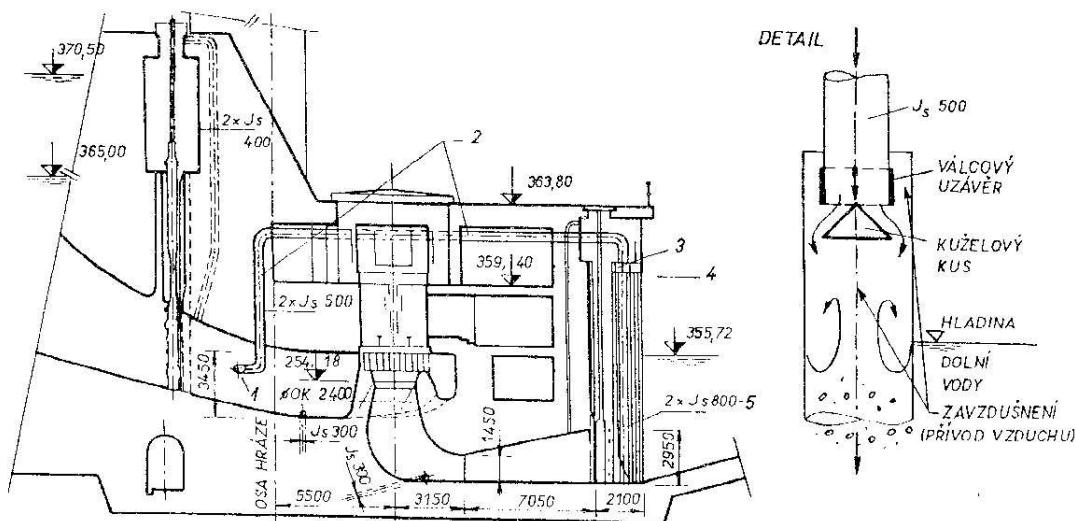
na hodnotu  $9 \text{ gm}^{-3}$  ( $O_2$ ), při výtoku ze spodní výpusti nádrže Jasenice s klinovým uzávěrem (6.8.85) zvýšení kyslíkového nasycení z hodnoty  $8,9 \text{ gm}^{-3}$  ( $O_2$ ) na hodnotu  $9 \text{ gm}^{-3}$  ( $O_2$ ). U prostého volného výtoku z uzávěru výpusti je oxygenace vody při větších průtocích zpravidla jen nízká, při menších průtocích bývá vlivem rozpadu naprsku poněkud větší.

Rešením spodních výpustí s vyvoláním přechodových jevů proudění se dosáhne nejenom oxidace vytékající vody, ale i dissipace energie na potřebný stupeň, což je zvláště významné u výpustí ve sdružených objektech přehrad s odpadním tunelem pod hrází, kde stále zatížení vysokými průtočnými rychlostmi by vyvolalo silné opotřebení betonu a jeho porušení abrazivními a kavitačními účinky.

#### 4.2 OXIDACE VODY VYTEKAJICÍ Z TURBIN

I u energetických nádrží, kde voda zbaňená kyslíku vytéká turbinami, je možnost kyslikového dosycení. Je možné např. použít aerace do podtlakových míst turbin; tím se ale obvykle trvale dosti sníží jejich výkon. Jako velmi vhodné se opět ukazuje užití malých aeračních výpustí s vytvořením přechodových jevů vyústěných do výtoků ze savek turbín např. podle obr. A.32 (VD Hněvkovice). Tyto pomocné aerační výpusti se použijí v případě kyslikového ohrožení toku. Ve vlastních aeračních výpustech s průtokem vody  $Q_1$ , při koncentraci kyslíku ve vzduchu  $C_g$ , dojde při poměrném průtoku vzduchu  $\beta_1 = Q_a/Q_1$  při odpovidajícím  $\kappa_1$  k rozpustení kyslíku

$$(Q_{02})_1 = \kappa_1 \beta_1 Q_1 C_g \quad (\text{A.91})$$



Obr. A.32 Použití malých aerodynamických vypustí zaústěných do sávek turbín VD Hněvkovice (4 agregáty a  $\sim 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , vždy 2 na jednu turbínu):  
 1 - odhér vody z vložky turbíny; 2 - tlakové potrubí; 3 - svíladelní rozstříkrový uzávěr; 4 - zavlažování; 5 - odpadní potrubí (zaústěné na dno sávek)

Voda z aeračních výpustí nasycená kyslíkem spolu s nabraným vzduchem se turbulenci smíší s výtokem bezkyslíkové vody z turbín. Vzestupný bublinkový mrak ve výtokovém profilu způsobi bezprostřední promísení v celém průtočném profilu a další přisycení kyslíkem a množství

$$Q_{O_2} = \pi_2 (\beta_1 Q_1) C_g \quad (A.92)$$

Stupeň využití kyslíku se vlivem vysoké turbulenze ve výtoku ze sítěk při využívajícím smísení blíže stupni využití  $\pi_2$ , podle závislosti  $\pi = f(\beta)$  pro  $\beta_2 = \beta_1 Q_1 / (Q_1 + Q_2)$ , kde  $Q_2$  je odpovídající podíl výtoku z turbín.

Vlivem vyčerpání části kyslíku ze vzduchových bublin ve směšovací troubě aerační výpusti se koncentrace kyslíku ve vzduchových bublinách sníží podle rov. (A.83) a tedy celkový stupeň využití kyslíku je

$$\pi = \pi_1 + \pi_2' (1 - \pi_1) \quad (A.93)$$

Celkové množství dodaného kyslíku je potom

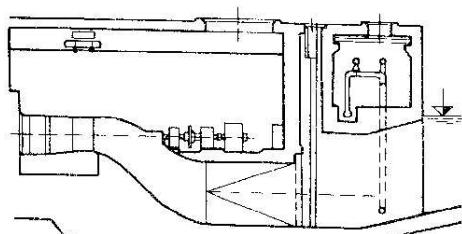
$$Q_{O_2} = \pi \beta_1 Q_1 C_g \quad (A.94)$$

Aerační výpusti umisťujeme po stranách výtoku ze sítěk, aniž by narušovaly účinnost turbín nebo jinak ovlivňovaly jejich činnost. K uspokojivé oxygenaci obvykle stačí průtok aeračními výpustmi kolem 3 - 6 % turbinového průtoku, který lze odebírat např. z přivaděče turbiny.

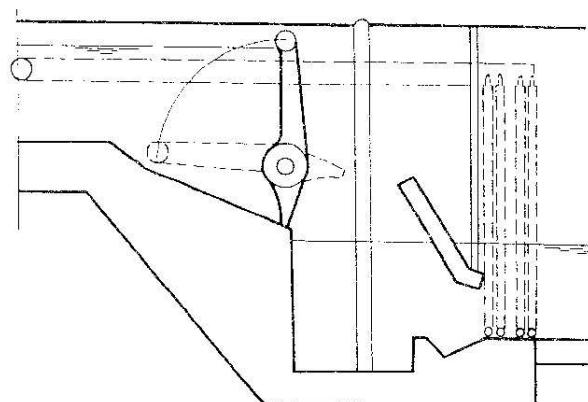
Měření uskutečněna na VD Hněvkovice v letech malovodném období v r. 1992 potvrdila významný přínos aeračních výpustí pro zvýšení koncentrace  $O_2$  v dolní vodě. Bez aerátorů bylo nasycení vody kyslíkem pod elektrárnou velmi nízké ( $0,7 - 1,9 \text{ g m}^{-3}$ ), po jejich zapojení se kyslikové poměry prakticky okamžitě zlepšily ( $\approx 7 \text{ g m}^{-3}$ ) a zvýšené koncentrace  $O_2$  se postupně propagovaly dale "po vodě".

Při simulaci stavu mimo špičku (elektrárna mimo provoz) bez aerátoru byla zjištěna koncentrace  $O_2$  pouhých  $1,5$  až  $0,6 \text{ g m}^{-3}$ , při zapojení dvou aerátorů pro oživení toku se dosáhlo téměř  $10 \text{ g m}^{-3}$  ( $O_2$ ): zřejmě postačí jediný aerátor ( $Q = 1,25 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ ).

K účinné oxidaci mnohdy lze využít výtok odpadní vody z jiného zařízení, vhodné vyústění formou aeračních výpustí, např. podle obr. A.33 (VD Kotensko), kde vedle kyslikového přisycení říční vody dosahneme dokonalé homogenizace odpadu v říční vodě.



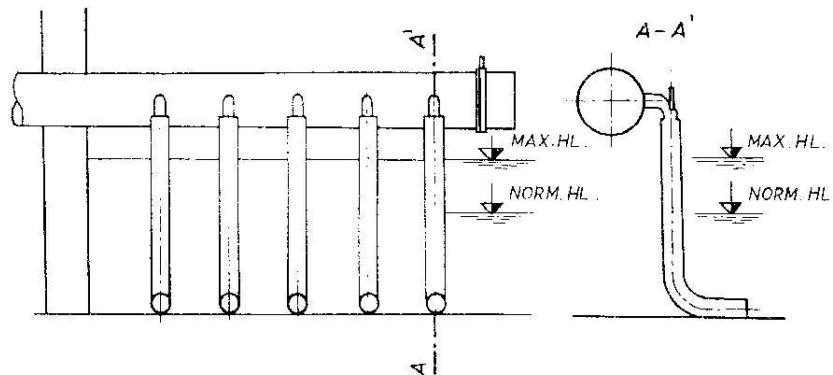
Obr. A.33 Aerace pomocí zaustření odpadní vody s využitím přechodového říje (VD Kotensko)



Obr. A.34 Pomočné aerační výpusti na plavecké komoře

#### 4.3 JINÉ MOŽNOSTI OXIDACE PÍCNÍ VODY

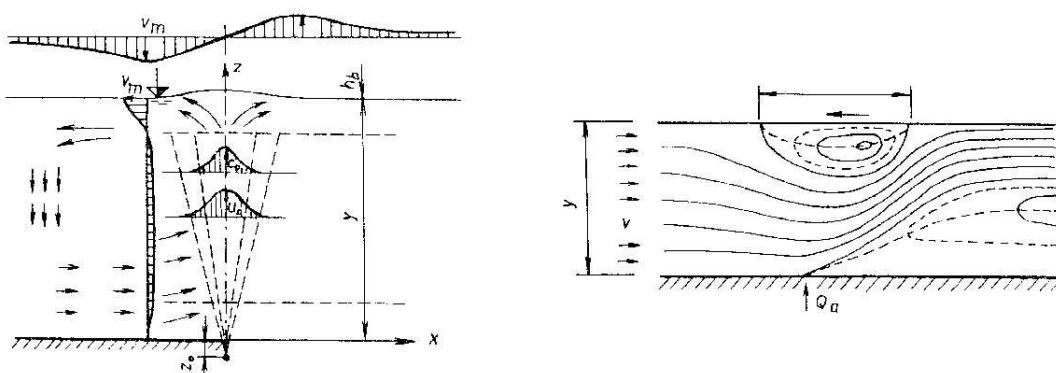
Pomocí aeračních výpustí lze zvýšit nasycení kyslíkem např. u splavných toků v plavebních komorách. Pomocné aerační výpusti - obr. A.34 jsou vyústěny do vývaru plnění komory. Ke zlepšení kyslikového stavu v přehradní nádrži lze vhodně využít např. i průsakové vody přečerpávané zpět do nádrže pomocí aeračních výpustí. Příklad na obr. A.35 byl uvažován při katastrofických zatíženích nádrže Nové Mlyny.



Obr. A.35 Využití přečerpávání průsakových vod k aeraci vody v nádrži

Ke zvýšení kyslikového nasycení přispívá i výtok s vodním skokem, přepad přes jez či dopad vodního paprsku na hladinu (odst. 2.3).

Ve vodním hospodářství je rozšířena oxidace vody probubláváním. Vhodným rozdělením trysek s vháněným vzduchem se vytvoří bublinový mrak, který zajistuje vertikální misení (schéma na obr. A.36). Stoupající bubliny vzduchu vyvouzí silu na okolní částice vody a vytvářejí proudění směřující vzhůru; s přibývající výškou se stále zvětšuje obsah vody uvedený do vzestupného pohybu. Na hladině vzduchové bublinky unikají do vzduchového prostoru a vytvořený vodní proud se ohýbá do stran. V okolní vodě dochází k hmotnostní výměně a v dolních vrstvách se vytváří zpětné proudění k bublinovému mraku.



Obr. A.36 Schéma oxidace vody probubláváním v nádrži

Obr. A.37 Schéma oxidace vody probubláváním na vodním toku

Při učtuji bublinového mraku v říčním korytě, kde podélne proudění se skládá s vertikálním proudem vývoleným vzestupným pohybem bublin, odpovídá proudění schématu podle obr. A.37.

Bublinový mrak lze samozřejmě vytvořit i přivedením dvoufázové směsi voda-vzduch ke dnu nádrže; tím současně nasystime veškerý sestupný průtok. To však není ekonomicky vhodný způsob pro příliš velké hloubky; pro menší a střední hloubky je to ale způsob ekonomicky i provozně výhodnější než pouhé vhanění tlakového vzduchu.

K oxidaci vody lze užít aerace do vodních turbin nabíráním přisávaného vzduchu do podtlakových míst turbiny; rotačním pohybem je zajištěn vysoký stupeň misení, tedy i účinný přestup kyslíku do vody. Účinnost oxidace ale záleží na provozních stavech turbiny, na velikosti průtoku, nastavení lopatek atd. (tim je ovlivněna i velikost podtlaku a množství nasávaného vzduchu). Aby tento druh oxigenace byl obecně využitelný pro oxidaci vody v tocích podle potřeby toků, bylo by třeba při kolísání nasávaného množství vzduchu zpravidla zajistit dostatek vzduchu ještě pomocným zdrojem. Tim všim se snižuje účinnost turbín (výroba energie). Provoz turbín je řízen potřebami energetickými. Nejkritičtější potřeba kyslíku byva v lete při rychlých průtocích a nízkých vodních stavech, kdy zpravidla turbiny nejsou v chodu. Některé druhy ryb (losos, pstruzí) se při vysokých potřebách kyslíku shromažďují pod výtoky z turbín a při jejich zastavení pokles kyslíku nepřežijí.

K oxidaci vody se používá též aeračních turbín. Povrchové aerační turbíny rozrásením hladiny a rozstříkem vody působi nabírání vzduchu do vody; u hlininových aeračních turbín se přivádí vzduch do podtlakového prostoru vytvořeného rotačním pohybem lopatkového kola.

Rovněž rozstřík vodního proudu vody nad hladinou přispívá k oxygenaci vody; např. na Temzi se ke zlepšení kvality vody používalo rozstříků pomocí hasičských stříkaček.

Uvedené mechanické prostředky ovšem ke své funkci spotřebují energii. Inženýr vodohospodář má při budování hydrotechnických děl k dispozici prostředky k oxidaci vody, tedy ke zlepšení její kvality, tj. k její regeneraci, které energii nespotřebují, mnohdy slouží výhodně i dalším účelům a při budování nových děl jsou jejich pořizovací náklady zanedbatelné.

#### LITERATURA

1. Haindl, K.: Prstencový skok a přechodové jevy proudění. Academia, Praha, 1975.
2. Haindl, K.: Improvement of Oxygen Balance and Water Quality in Streams by Suitable Design of Functional Devices in Hydraulic Structures. Congress IAHR, Moskva, 1983.
3. Haindl, K.: Aeration at Hydraulic Structures. chpt. 3 in - Developments in hydraulic Engineering. Elsevier Appl. Sc. Publishers, London - New York, 1984.
4. Haindl, K.: Oxygen Enrichment at Hydraulic Structures and Water Management Equipments. United Nations UNDP - CWPRS Puna, 1985.
5. Haindl, K. - Nachtmann, T. - Faviuk, V.: Přestup plynu do kapaliny. Vodohospodářský časopis, 1987, 2.
6. Reháčkova, V.: Vyhodnocení změn jakosti vody v nádrži Orlík. Zpráva VÚV Praha, 1963.
7. Fiala, L.: Chemické poměry v nádrži Slapy v r. 1957 - 1958. Sborník VŠCHT Praha, Technologie vody, 1962.

8. Avery, S. - Novák, P.: Oxygen Transter at Hydraulic Structures. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, vol. 104, HY 11, 1978, s. 1521-1540.
9. Nakasone, H.: Study of Aeration at Weirsand Cascades. Journal of Environmental Engineering. ASCE, vol. 113, No 1, 2/1987, s. 64-81.

## B. VYBRANÉ OTÁZKY ZIMNÍHO PROVOZU

### B.1. PŘÍMÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRAT Z HLADINY VODY DO OVZDUSÍ

Pro úsek vodního toku ve stacionárních hydraulických i termických podmínkách (tj. ve zvoleném časovém intervalu At za ustáleného pohybu vody v korytě a za ustáleného toku tepla) lze pro jednotkový objem vody zapsat tepelnou bilanční rovnici ve tvaru:

$$Q = Q_{sp} + Q_{sr} + Q_p + Q_w - Q_c - Q_k - Q_r - Q_v + Q_d + Q_a \quad (\text{B.1.1})$$

kde  $Q_{sp}$  je přívod tepla přímým slunečním zářením,

$Q_{sr}$  - přívod tepla rozptýleným slunečním zářením,

$Q_p$  - přívod tepla s přítékající vodou do téhoto objemu,

$Q_w$  - přívod tepla vzniklého prací sil vnitřního tlaku,

$Q_c$  - ztrata tepla vypařováním z hladiny,

$Q_k$  - ztrata tepla konvekcí při přenosu tepla společně s pohybujicimi se částicemi prostředí, v tomto případě s vodou nebo se vzduchem ve vodě,

$Q_r$  - ztrata tepla vyzářováním,

$Q_v$  - ztrata tepla s vodou odtekající z téhoto objemu,

$Q_d$  - výměna tepla mezi dnem a boky koryta a vodou,

$Q_a$  - přívod nebo ztrata tepla atmosférickými srážkami.

Tyto složky tepelné bilance (všechny hodnoty v [J]) vyjádřujícím způsobem popisují charakter a rozsah výměny tepla mezi vodou a okolním prostředím.

Výměnu tepla je učelné zkoumat na jednotku plochy hladiny, neboť hladina se na ni zpravidla nejvíce políli. Potom lze pro hranič vody o výšce h a o ploše stěny, kterou se dotýka hladiny 1 m<sup>2</sup> psát:

$$\dot{h} \rho \Delta t = q \cdot \Delta t \quad (\text{B.1.2})$$

kde  $\rho$  je hustota vody [kg m<sup>-3</sup>],

$c$  - měrné teplo vody [J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>],

$\Delta t$  - průměrná změna teplot vody v celém korytu [K],

$\Delta t$  - délka časového intervalu [s].

$q$  - výsledný přívod nebo ztrata tepla na jednotkovou plochu hladiny /1 m<sup>2</sup>/ za jednotku času (1 s) [J m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> = W m<sup>-2</sup>], který se definuje jako hustota tepelného toku.

Rovnice (B.1.1) můžeme pak zapsat i pro hustotu tepelného toku ve tvaru

$$q = Q_{sp} + Q_{sr} + Q_p + Q_w - Q_c - Q_k - Q_r - Q_v + Q_d + Q_a \quad (\text{B.1.3})$$

Přívod tepla se označuje kladným známkem, ztrata hustota tepelného toku je záporná.

Tuto tepelnou bilanční rovnici neni třeba ve všech případech užívat v kompletním tvaru. Např. je-li vodní hladina pokryta ledu, nemohou se bud ztráta nebo z části některé složky uplatnit.

Hodnoty jednotlivých složek tepelné bilanční rovnice se určují většinou empirických vzorců, odvozených z pozorování v místních klimatických popř. hydrologických podmínkách.

Spravidla velmi výstižně vyjadruje v našich podmínkách celkovou hustotu tepelného toku hladiny tzv. Matouškův sjednodušený vzorec [11], který uvádí

hustotu tepelného toku vypařováním, konvekci, efektivním vyzařováním, pohlcené sluneční záření, efektivní vyzařování i výměnu tepla s podložím a jeho přívod od práce sil vnitřního tlaku ve tvaru. při možném zanedbání slunečního záření a vlivu sněžení. Vzorec má 4 modifikace pro různé intervaly teploty vzduchu  $t_o$ :

1. pro  $t_o \in <0; -12>$

$$q_o = -100 + 12,6 t_o - 16 t_h + 3,2 (0,8 t_o - t_h - 1) w_2 + (318 + 4,6 t_o) cn \quad (B.1.4)$$

2. pro  $t_o \in (-12; -24>$

$$q_o = -115 + 11,2 t_o - 16 t_h + 3,2 (0,7 t_o - t_h - 2) w_2 + (326 + 4,6 t_o) cn \quad (B.1.5)$$

3. pro  $t_o \in (-24; -38>$

$$q_o = -156 + 9,1 t_o - 16 t_h + 3 (0,6 t_o - t_h - 4) w_2 + (328 + 4,8 t_o) cn \quad (B.1.6)$$

4. pro  $t_o < -38$

$$q_o = -175 + 9,5 t_o - 16 t_h + 3 (0,6 t_o - t_h - 6) w_2 + (332 + 4,8 t_o) cn \quad (B.1.7)$$

kde  $w_2$  - rychlosť větru ve výšce 2 m nad hladinou [ $m s^{-1}$ ],

$t_h$  - teplota hladiny [ $^{\circ}C$ ],

$t_o$  - teplota vzduchu ve výšce 2 m nad hladinou [ $m s^{-1}$ ],

$n$  - oblačnosť (bezrozměrné číslo, udávající míru pokrytí oblohy oblaky v rozmezí od 0 do 1; 0 = jasno, 1 = zataženo),

$c$  - koeficient závisející na hustotě oblačnosti (bezrozměrné číslo; pro fiktivní oblačnosť se bere  $c = 0,06$ , při málo husté oblačnosti  $c = 0,16$  a husté  $c = 0,27$ ).

Teplotu hladiny  $t_h$  neumíme zatím přesně změřit. Lze ji však spočítat. K jejímu určení je třeba znát hodnotu  $q_o$ , jejíž výpočet vychází mj. z teploty hladiny. Proto se postupuje tak, že se určí  $q_o$  z odhadu teploty hladiny blízké známé (změřitelné) teplotě vody. Potom se počítá teplota hladiny podle vztahu

$$t_h = \frac{q_o (\sqrt{MC} \cdot R)^{0,61}}{12436 v + cw_2 (\sqrt{MC} \cdot R)^{0,61}} + t_v \quad (B.1.8)$$

kde  $M = 0,7 C + 6$  pro  $10 < C \leq 60$  resp.

$M = 48$  pro  $C > 60$ .

$C$  je Chézyho rychlostní součinitel,

R - hydraulický poloměr [m],

v - rychlosť vody [ $\text{ms}^{-1}$ ],

a - koeficient závisející na šířce hladiny B [m] ve směru větru určený podle vztahů

1)  $a = 15$  pro  $B \leq 15$  m,

2)  $a = -0,9 + 5,8 \lg B$  pro  $15 < B \leq 3800$  m,

3)  $a = 47$  pro  $B > 3800$  m,

$w_2$  - rychlosť větru 2 m nad hladinou [ $\text{ms}^{-1}$ ],

$t_v$  - teplota vody [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Zjištěná hodnota  $t_h$  se porovná s předem odhadnutou a při jejich větším rozdílu se výpočet  $q_o$  popř. zopakuje.

Hodnota  $q_o$  vyjde za mrazu záporná, neboť jde o tepelnou ztrátu. Vztah platí do vytvoření ledové pokryvky. Pak se podmínka tepelné výměny ovlivněn ledovou pokryvkou a teplotou horního povrchu ledu mění.

## B.2 VÝPOČET POTŘEBNÉHO PŘÍKONU PRO OHŘEV ČESLÍ ODBERNÝCH OBJEKTOV

### Rovnoměrný odporový ohřev česlí

Nutný měrný příkon  $p$  [ $\text{kWm}^{-2}$ ] se určí ze vztahu

$$p = \alpha_{\max} (t_p - t_v), \quad (\text{B.2.1})$$

kde  $\alpha_{\max}$  je maximální hodnota součinitele přestupu tepla od povrchu česlí k vodě [ $\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ],

$t_v$  - nejnižší teplota pzechlazené vody [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$t_p$  - minimální potřebná teplota povrchu česlí v bodě, kde je největší  $\alpha_{\max}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]; doporučuje se brát  $t_p = 0,01^{\circ}\text{C}$ .

Pro tyče kruhového průřezu (popř. polokruhového zhlaví tyčí)

$$\alpha_{\max} = 2,0 v^{0,6}/d^{0,4} \quad [\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}], \quad (\text{B.2.2})$$

kde  $v$  - rychlosť vody v česlicích [ $\text{ms}^{-1}$ ],

$d$  - průměr tyče (popř. jejího čela v zaoblení) [m].

Pro tyče obdélníkového průřezu

$$\alpha_{\max} = 7,7 v^{0,8} \quad [\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}]. \quad (\text{B.2.3})$$

Hodnoty  $v$ ,  $t_v$  a tedy i  $\alpha_{\max}$  lze těžko přesně určit, a proto se doporučuje zvýšit vypočtený měrný příkon o 20 až 60 %. Jestliže zajistujeme tímto způsobem v nejnepříznivějším místě  $t_p = 0,01^{\circ}\text{C}$ , budou teploty povrchu na ostatních místech  $t_p > 0,01^{\circ}\text{C}$  a část česlí bude tak zbytečně přehřáta. Proto je uvedený způsob ohřevu vlastně nehospodárný.

Na namrzání ledových krystalů na povrch česlí mají vliv i konců česlicových tyčí vyčnívající nad vodu. Aby se tento nepříznivý vliv ochlazování tyčí z atmosféry odstranil, postačí tyče nad vodou ohřát na  $t_o = 0^{\circ}\text{C}$ .

K tomu je zapotřebí měrný příkon:

$$p = \alpha_1 (-t_{vz}) \quad [\text{kWm}^{-2}], \quad (\text{B.2.4})$$

kde

$\alpha_1$  je součinitel přestupu tepla od povrchu tyče do ovzduší [ $\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ],

$t_{vz}$  - teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Pro tyče kruhového průřezu platí, že

$$\alpha_1 = 0,0037 w^{0,6}/d^{0,4} \quad [\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}], \quad (\text{B.2.5})$$

kde  $w$  je rychlosť větru [ $\text{ms}^{-1}$ ],

$d$  - průměr tyče [m].

Pro obdélníkový průřez tyče s obvodem  $\omega$  [m] platí, že

$$\alpha_1 = 0,0071 w^{0,8}/\omega^{0,2} \quad [\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}]. \quad (\text{B.2.6})$$

#### Nerovnoměrný (diferencovaný) ohřev česlí

Nutný měrný příkon je obdobné jako u rovnoměrného ohřevu

$$p_x = \alpha_x (0,01 - t_v) \quad [\text{kWm}^{-2}], \quad (\text{B.2.7})$$

kde  $p_x$  je příkon na 1  $\text{m}^2$  plochy tyče, nutný k zamezení omrzání ve vzdálenosti  $x$  od čelního bodu,

$\alpha_x$  - místní hodnota součinitele přestupu tepla od povrchu tyče k vodě [ $\text{kWm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ],

$t_v$  - nejnižší teplota přechlazené vody [ $^\circ\text{C}$ ].

Pro výpočet je možné užít střední hodnoty součinitele přestupu tepla

$$\bar{\alpha} = 1,1 v^{0,6}/d^{0,4} \text{ pro tyč kruhovitého průřezu a} \quad (\text{B.2.8})$$

$$\bar{\alpha} = 2,8 v^{0,8}/\omega^{0,2} \text{ pro tyč obdélníkového průřezu} \quad (\text{B.2.9})$$

( $\omega$  je obvod příčného řezu tyče [m]

a  $v$  - průřezová rychlosť [ $\text{ms}^{-1}$ ]).

Pak dostaneme vztahy pro průměrný příkon

$$p = 1,1 (0,01 - t_v) v^{0,6}/d^{0,4} \text{ (kruhový průřez) a}$$

$$p = 2,8 (0,01 - t_v) v^{0,6}/\omega^{0,2} \text{ (obdélníkový průřez).}$$

Tímto diferencovaným ohřevem se ušetří proti rovnoměrnému ohřevu 25 až 50 % energie.

### B.3 RESENÍ TEPLITOVÝ VODY V PODÉLNÉM PROFILU TOKU

Znalost vývoje teplot vody v podélném profilu toku a v čase je nezbytnou pomůckou řešení jeho termického a ledového režimu. Vyjádření tohoto teplotního profilu a jeho přesnost závisí na časovém a prostorovém rozdělení tepelné energie v korytě vodního toku. Je-li v korytě ustálený pohyb a koryto má téměř jednotný geometrický tvar, lze je zobrazit několika prizmatickými úseků.

Je-li však proudění neustálené, s velkými změnami průtoků, hloubek, rychlostí z plochy vodní hladiny (ta je velmi důležitá, protože přes ni se uskutečnuje rozhodující výměna tepla), je nezbytné rozdělit koryto na větší počet kratších úseků.

Matematický model podélného profilu teploty vody v korytě vychází ze dvou fyzikálních rovnic:

- z hydrologické bilance pro objem úseku toku ve tvaru

$$\frac{dV_j}{dt} = Q_p - Q_a + H_s - E + Q_b - Q_d \quad (\text{B.3.1})$$

kde  $V_j$  je objem vody v j-tém úseku koryta [ $m^3$ ],  
 $Q_p$  - přítok vody do úseku ve směru osy koryta [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $Q_o$  - odtok vody z úseku [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $H_s$  - atmosférické srážky na hladinu v úseku [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $E$  - výpar z hladiny v úseku [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $Q_b$  - místní přítok do úseku [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $Q_d$  - ztráta vody v úseku průsakem [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $\tau$  - čas [s].

Velikost  $H_s$  a  $E$  bývá v porovnání s ostatními veličinami velmi malá a proto je možné je zanedbat. Pro ustálení proudění ovšem platí, že

$$\frac{dV_j}{dr} = 0$$

Pro neustálené proudění v korytě pak hledáme přírůstek (úbytek) objemu vody za časový interval  $\Delta\tau$  ve tvaru

$$V_j(\tau + \Delta\tau) = V_j(\tau) + \frac{dV_j}{d\tau} \cdot \Delta\tau \quad (B.3.2)$$

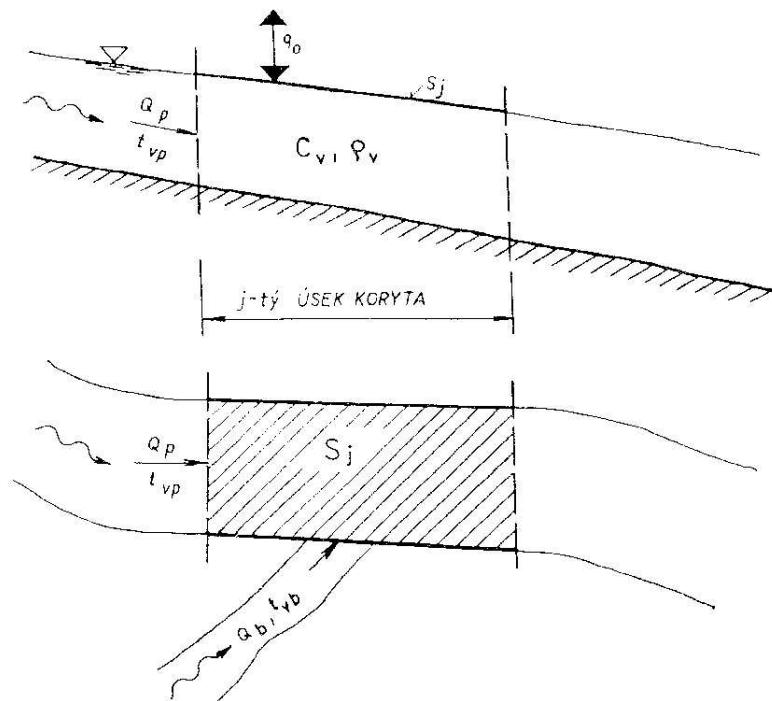
- z tepelné bilance objemu vody v řešeném j-tém úseku, která zahrnuje tepelný tok spojený s průtokem vody v korytě a s přenosem (výměnou) tepla do popř. z okolního prostředí. Podle [11] ji lze ve zjednodušeném tvaru popsat rovnici

$$\frac{dt_{vj}}{d\tau} = \frac{1}{V_j} \left[ \frac{S_j q_o}{C_v \rho_v} + Q_p(t_{vp} - t_{vj}) + Q_b(t_{vb} - t_{vj}) \right] \quad (B.3.3)$$

kde  $t_{vj}$  je teplota vody v j-tém úseku [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $(dt_{vj}/dr$  pak její změna),  
 $V_j$  - objem vody v j-tém úseku koryta [ $m^3$ ],  
 $S_j$  - plocha hladiny v j-tém úseku [ $m^2$ ],  
 $q_o$  - hustota tepelného toku výměny tepla s okolním prostředím [ $\text{Wm}^{-2}$ ], určená např. podle vztahů uvedených v příloze B.1.,  
 $C_v$  - měrné teplo vody [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ],  
 $\rho_v$  - hustota vody [ $\text{kgm}^{-3}$ ],  
 $Q_p$  - přítok vody do j-tého úseku [ $m^3 s^{-1}$ ],  
 $t_{vp}$  - teplota vody přitékající do j-tého úseku [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $Q_b$  - boční přítok vody do j-tého úseku [ $^{\circ}\text{C}$ ] a  
 $t_{vb}$  - teplota vody bočního přítoku do j-tého úseku [ $^{\circ}\text{C}$ ].  
 Význam všech symbolů je pro přehlednost ještě vyznačen ve schématu na obr. B.3.1.

Rešením rovnic (B.3.1) až (B.3.3) lze určit po intervalech  $\Delta\tau$  časový vývoj teploty vody v úseku podle vztahu ve tvaru:

$$t_{vj}(\tau + \Delta\tau) = \frac{\Delta\tau}{V_j(\tau)} \left\{ \frac{S_j(\tau)q_o(\tau)}{C_v \rho_v} + Q_p(\tau)[t_{vp}(\tau) - t_{vj}(\tau)] + Q_b(\tau)[t_{vb}(\tau) - t_{vj}(\tau)] \right\} \quad (B.3.4)$$



Obr. B.3.1 Schéma k výpočtu tepelné bilance j-tého úseku koryta toku

Při ustáleném prouďení, kdy  $dV_j/d\tau = 0$ , při zanedbání  $E$  a  $H_s$  v rovnici (B.3.1) a při zavedení  $Q_o = Q_p + Q_b$  lze psát:

$$t_{vj}(\tau + \Delta\tau) = \frac{Q_p}{Q_o} t_{vp} + \frac{S_j q_o(\tau)}{C_v \rho_v Q_o} + \frac{Q_b}{Q_o} t_{vb} \quad (\text{B.3.5})$$

Uvedené řešení lze dále zjednodušit. Vycházíme-li z počátečního profilu, v němž máme v daném čase teplotu vody  $t_{vj-1}$  a další vstupní údaje, lze psát [11]

$$t_{vj} = t_{vj-1} + \frac{q_o B_j L_j}{4186,8 \cdot 10^3 Q} \quad (\text{B.3.6})$$

kde  $t_{vj}$  je teplota vody na konci j-tého úseku [ $^\circ\text{C}$ ],

$t_{vj-1}$  - teplota vody na začátku j-tého úseku [ $^\circ\text{C}$ ],

$q_o$  - hustota tepelné výměny s okolním prostředím [ $\text{W m}^{-2}$ ],

$B_j$  - šířka toku v j-tém úseku [m],

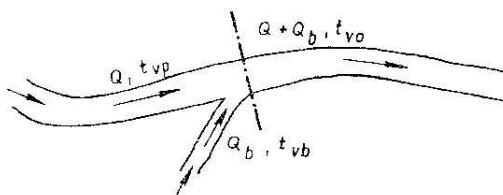
$L_j$  - délka j-tého úseku [m],

$Q$  - ustálený průtok vody [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ].

Pokud do koryta přitéká boční přítok  $Q_b$  určíme teplotu vody v toku pod ním podle směšovacího pravidla ve tvaru:

$$t_{vo} = \frac{Q t_{vp} + Q_b t_{vb}}{Q + Q_b} \quad (\text{B.3.7})$$

Význam symbolů v rovnici (B.3.7) je zřejmý ze schématu na obr. B.3.2.



Obr. B.3.2 Schéma k výpočtu teploty vody pod zaústěním přítoku

#### B.4 VYBRANÉ FYZIKÁLNÍ VELIČINY VODY A LEDU PRO TERMICKÉ VÝPOČTY

Pro četné termické výpočty, spojené s řešením úloh o vzniku a průběhu ledových jevů a procesů, je potřebné znát hodnoty základních fyzikálních veličin vody a ledu v rozmezí teplot, které se prakticky vyskytují.

Podrobnější přehled, než udávají následující tabulky, poskytnou tabulky s diagramy v [19] na stranách 63 - 65 a 74.

Tabulka B.4.1

V O D A

Fyzikální veličina	Teplota vody $t_v$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]							
	0	5	10	20	40	60	80	100
Měrná hmotnost vody $\rho$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	999,87	999,99	999,75	998,26	922,35	983,20	971,40	958,65
Měrné teplo vody $c$ [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	4226,2	42100	4196,4	4182,2	4178,0	4181,0	4192,0	4210,0
Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,5688	0,5747	0,5801	0,5914	.	.	.	.
Měrné výparné teplo $l_{23}$ [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	2500,8	2488,0	2477,3	2453,5	2406,2	2358,0	2308,0	2258,4
Dyn.viskozita $\eta$ [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	0,01789	0,01552	0,01311	0,01002	0,00660	0,00469	0,00357	0,00254

Tabulka B.4.2

L E D

Fyzikální veličina	Teplota ledu $t_l$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]							
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-40
Měrná hmotnost ledu $\rho$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	916,8	917,5	918,1	918,8	919,5	920,1	920,8	922,1
Měrné teplo ledu $c$ [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	2117	2078	2039	2000	1961	1922	1883	1805
Měrná tepelná vodivost $\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	2,220	2,237	2,253	2,270	2,287	2,303	2,320	2,353
Měrná tepelná vodivost $\kappa$ [ $10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	1,144	1,173	1,204	1,235	1,268	1,302	1,338	1,414
Délková roztažnost [ $10^{-6} \text{K}^{-1}$ ]	54,0	53,1	52,2	51,3	50,4	49,5	48,6	46,8

## B.5 NAMĚTY PRO RESENI VYBRANÝCH PROBLÉMU A ULOH ZIMNÍHO PROVOZU VODNÍCH DĚL

Předložené náměty úloh a posouzení otázek zimního provozu na tocích dávají možnost ověřit si orientaci v problematice a schopnost aplikace některých postupů a metod k řešení konkrétních jednodušších problémů.

### I. Ke kapitole 3.2

Vypracujte vývojový diagram pro všechny možné varianty vzniku ledových jevů a vývoje ledových procesů:

- v úseku toku s velkou průřezovou rychlosí vody a s vysokou turbulencí vodního proudu,
- v úseku toku s malou průřezovou rychlosí vody.

### II. Ke kapitole 3.3

Provedte analýzu podmínek vzniku ledové celiny v úseku toku s lichoběžníkovým profilem (šířka ve dně  $B = 20$  m, sklon svahu 1:2, podélný sklon dna toku  $i_0 = 1\%$ , průměrná hodnota stupně drsnosti dna a boků koryta  $n = 0,020$ ) pro rozmezí možných zimních průtoků od 10 do  $50 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ , může-li do úseku přítékat voda s průřezovou teplotou od  $+1^\circ\text{C}$  do  $-0,1^\circ\text{C}$  (přechlazený vodní proud).

Zvolte sami charakteristické meteorologické situace s teplotami vzduchu do  $-20^\circ\text{C}$ , bez větru nad hladinou až do jeho rychlosti  $w_2 = 15 \text{ ms}^{-1}$ , za jasného i zataženého počasí.

### III. Ke kapitole 3.4

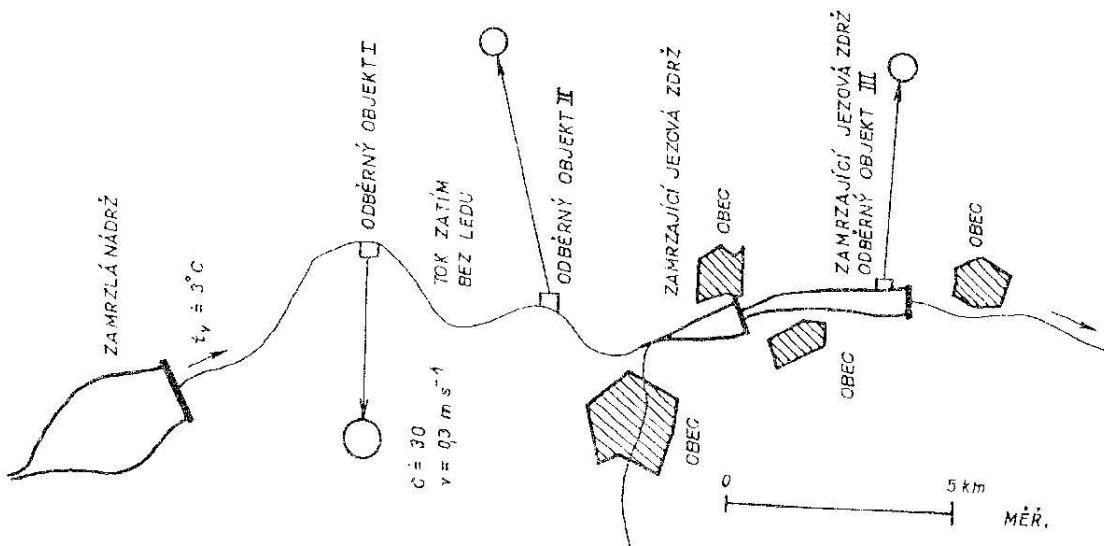
Srovnajte narůstání tloušťky ledu podle empirických vzorců různých autorů pro daný průběh pozorovaných teplot vzduchu ve stanici na břehu toku a naměřené tloušťky sněhové pokrývky:

Den	Termínové pozorování teploty vzduchu $[\text{ }^\circ\text{C}]$			Naměřená tloušťka sněhové pokrývky $[\text{cm}]$
	ve 7 h.	ve 14 h.	ve 21 h.	
1.	-3	-1	-5	0
2.	-6	-2	-8	0
3.	-5	-1	-10	5
4.	-12	-5	-13	5
5.	-13	-4	-17	5
6.	-13	0	-10	5
7.	-11	-2	-10	5
8.	-8	-2	-8	15
9.	-7	-3	-9	20
10.	-10	-3	-10	20

### IV. Ke kapitole 3.5

Pokuste se o vyznačení a zdůvodnění nebezpečných míst v zimním provozu podle schématu na obr. B.5.1 za situace, kdy průměrné denní teploty vzduchu  $t_{vz}$  a rychlosí větru  $w$  dosahovaly hodnot: (viz následující strana)

Den	$t_{vz}$ [°C]	w [ $m \cdot s^{-1}$ ]
d - 2	-3,0	5
d - 1	-4,5	1
d	-5,0	1
Předpověď:		
na den		
d + 1	-7,0	10
d + 2	-9,0	10

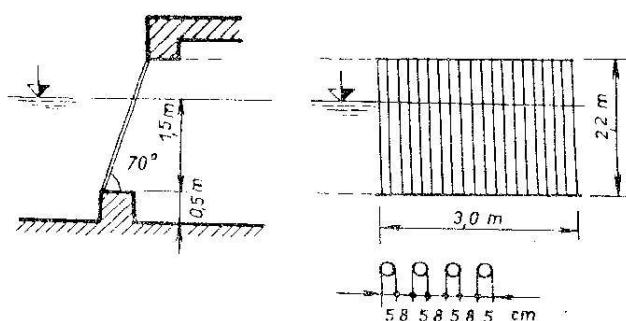


Obr. B.5.1 Schéma k řešení úlohy o zimním provozu úseku toku pod nádrží

##### V. Ke kapitole 3.5

Odhadněte potřebný příkon elektrické energie k ohřevu česlí, který by zajistil nenamrzání i ve vodě přechlazené na  $-0,1^{\circ}\text{C}$ . Rozhodněte o hospodárnosti tohoto ohřevu.

Česle jsou vyznačeny ve schématu na obr. B.5.2. Rozteč česlicových tyčí z ocelových trubek o tloušťce stěn 0,3 cm je 13 cm, jejich průměr 5 cm.



Obr. B.5.2 Schéma k výpočtu ohřevu česlí

### C. PLÁNY CYKLICKÉ ÚDRŽBY

Podle současné metodiky se pro vodní díla se stálou obsluhou zpracovávají:

- Dlouhodobé plány cyklické údržby (obvykle na 3 roky),
- měsíční plány cyklické údržby.

V nich se zahrnují v podstatě všechny pracovní úkony obsluhy díla i činnosti specializovaných skupin (např. dílen), s výjimkou běžných manipulací.

Plány cyklické údržby se zpracovávají i na dílech bez stálé obsluhy.

Skladba jednotlivých praci zavírá na charakteristických vlastnostech a funkci objektu. Obvykle se říká podle hlavních objektů s rozlišením stavební, strojní, technologické, výtvarné elektrotechnické části a specifických zařízení. Zahrnují se i práce které nepatří mezi udržbařské, jsou však součástí pracovní naplně pracovníku obsluhy všechny aktivity.

#### Dlouhodobý plán cyklické údržby

Sestavuje se do tabulky, kde jednotlivé sloupoře obsahují

- pořadové číslo,
- druh praci,
- kód,
- cyklus praci (např. i za týden, i za rok, podle potřeby),
- počet hodin na praci,
- počet pracovníků,
- nástroje, materiál,
- plánovaný počet hodin v jednotlivých čtvrtletích (popř. měsících + roční součty),
- poznámka.

Např. pro zdymadlo na splavném úseku Labe, kde vybudovaná vodní elektrárna je ve správě organizace energetiky, má povodí Labe sestaveno plán, který se rozšleňuje na objekty:

- jez,
- plavební komora,
- ostatní hydrotechnické stavby,
- budovy, komunikace, pozemky.

Pro ilustraci se uvádí část příslušné tabulky (viz následující strana).

Do přehledu se zahrnují i neplannedé práce, nesbytné rezervy (včetně dovolených, odhadu nemocnosti atd.) a výsledkem je celkově plánovaný počet hodin. Tato plánovaná potřeba je pokryta převážně fondem pracovní doby pracovníku obsluhy, popř. pořadových specializovaných čet provozovatele. V jistých ohledech se popř. mohou vyskytnout takova soustředění práci, že je nelze pokrýt. Pak je nutné plán upravit.

V měsíčním plánu cyklické údržby, který vychází z dlouhodobého plánu, se provádí kopis praci po jednotlivých dnech. Tento operativní plán se od dlouhodobého plánu v některých případech může dost odlišovat, protože bezprostředně zahrnuje vycházející stav na objektu (např. poškození resp. opotřebení některých zařízení a zpoždění udržbařských prací po dlouhé době s obtížným činním režimem).

Plnění požadovaných prací, zahrnutých do plánu cyklické údržby i mimořádných prací, se soustavně sveduje a vyhodnocuje - a to opět v měsíčních intervalech.

Poznámka: Plánování, evidenci a vyhodnocování údržby je obtížné odlišit od ostatních prací obsluhy vodního díla, tj. vyčlenit je z rámce pracovní náplní pracovníků obsluhy na objektu. Proto dnes používané postupy je třeba považovat za účelný kompromis, který ve stadiu plánu umožňuje odhad potřeby kapacit údržby v rámci soustavné péče o vodní dílo, a při zhodnocení skutečně provedené údržby porovnat reálný stav s požadavky vyplývajícími ze snah o zajištění trvale vyhovujícího technického stavu objektu (vyjádřených plánem).

Dnešní praxe se soustavně vyhodnocuje a hledají se cesty, jak zvýšit úroveň péče o stav vodohospodářských děl (obecněji o stav základních prostředku ve vodním hospodářství), v nichž kvalifikovaná údržba má rozhodující úlohu.

J E Z

a/ stavební část, včetně koryta v okolí						Rozpis		
č.	Druh prací	Kód	Cyklus	h.	Prac.	Materiál	1. čtvrt.	2. čtvrt.
1	Kontrola zdi-va jezu a o-pevnění břehů	160	1x t	1	1	-	13	13
2	Kontrola dna podjezí a nad-jezí zaměřením	163	1x r	56	7	lanko, loďka sondýrka	-	-
3	Likvidace ne-žádoucího porostu ze zdi-va a dlažeb	166	1x r	32	1	škrabka, žebřík, loďka	-	32
4	Doplňní spárování obklá-dů a dlažeb	174	1x r	48	2	cement, písek	-	-
b/ Strojní technologická část včetně elektroinstalace								
1	Kontrola zařízení včetně kontroly pohybu	027	1x t	1	1	-	13	13
2	Čištění, kontrola stavu konstrukcí uzávěrů	004	1x 10 r	540	x	x		
18	Kontrola funkce, seřízení a údržba kónc.vypínačů atd.	062	1x m	16	2		32	32

OBSAH	str.
1. Spolehlivost vodních děl ze provozu	... 3
1.1 Zvláštnosti provozu vodních děl	... 3
1.2 Teorie spolehlivosti a její uplatnění v provozu vodních děl	... 4
1.3 Mimofádné provozní situace	... 7
1.4 Další provozní stavы	... 8
1.5 Provozovatelé vodních děl	... 9
2. Vodohospodářský provoz	... 10
2.1 Manipulační řady	... 11
2.2 Schopnost adaptace na změny podmínek vodohospodářského provozu	... 12
3. Zimní provoz	... 20
3.1 Zvláštnosti třídující přírody v českých resp. slovenských podmínkách	... 20
3.2 Vybrané základní typy ledových jevů a procesů	... 23
3.3 Ledové jevy a procesy na vodních cestách	... 23
3.4 Ledové jevy a procesy v nadřídkách	... 27
3.5 Zimní provoz odběrných objektů a uzávěr	... 30
3.6 Statické a dynamické úřinky ledu na konstrukcích	... 37
3.7 Zimní provoz vodních cest	... 39
3.8 Zimní provoz hydrotechnických přivaděčů	... 41
4. Obsluha, údržba, opravy, rekonstrukce	... 46
4.1 Provozní řád, provozní předpisy	... 46
4.2 Provozní činnosti	... 47
4.3 Nejvýznamnější úkoly provozní údržby a opravy na vodních dílech	... 50
5. Technickobezpečnostní dohled (TBD)	... 60
6. Vodní toky, vodní díla a jakost vody	... 67
6.1 Hlavní právní povinnosti v péči o jakost vody	... 67
6.2 Sledování jakosti vod	... 68
6.3 Havarie	... 69
7. Vztahy k okolí	... 73
8. Dodatky	... 78
A.1 Rizika výskytu stavů s nedostatečným kyslíkovým nasycením vody	... 78
A.2 Provzdušnění vodního proudu	... 80
2.1 Způsoby provzdušňování	... 80
2.2 Nadkritické proudění	... 81
2.3 Přepad vody s volným padem přepadající vody	... 84
2.4 Zavzdusnění pod paprskem	... 85
2.5 Přechodové jevy proudění	... 86
2.6 Chod vodouchu horizontálním potrubím	... 87
2.7 Přepad a pad vodního napáreku	... 94
2.8 Sestupné proudění provzdušněné vody svicílym potrubím	... 95
A.3 Přestup plynu do kapaliny při průtočném sněžování	... 97
A.4 Oxidace vody na hydrotechnických dílech	... 104
4.1 Oxidace ve výtocích a v spodních výplasti jezera	... 104
4.2 Oxidace vody vytékající z turbín	... 105
4.3 Jiné možnosti oxidace říční vody	... 107

B. Vybrané otázky zimního provozu	...112
B.1 Orientační výpočet tepelných ztrát z hladiny vody do ovzduší	...112
B.2 Výpočet potřebného příkonu pro ohřev česli odběrných objektů	...114
B.3 Řešení teploty vody v podélném profilu toku	...115
B.4 Vybrané fyzikální veličiny vody a ledu pro termické výpočty	...118
B.5 Náměty pro řešení vybraných problémů zimního provozu vodních děl	...119
C. Plány cyklické údržby	...121