Nádrže a vodohospodářské soustavy

Vybrané části

Základní pojmy

- **Přirozené a požadované variační rozpětí průtoku vody v toku**
- Nalepšený O_P a neškodný odtok O_{NE}
- **Řízení odtoku vody z povodí (ŘO)**
- Nástroje použitelné pro ŘO – přirozené, umělé
- Řešení napjatosti mezi požadavky na nalepšený odtok a kapacitou vodního zdroje (bodový odběr, nádrž, soustava nádrží)
- Součinitel nalepšení α
- **Vodní hospodářství a jeho dekompozice (přímé využití vodních zdrojů, sekundární koloběh vody, subsystém modifikace)**
- **Zabezpečenost odtoku vody z nádrže**
- Zabezpečenost O_P - P_o, P_t, P_d
- Vztahové křivky $O_P(P)$
- Zabezpečenost O_{NE} - P_{NE}, vyhodnocení historického období, navrhování

Podklady pro vodohospodářské řešení nádrží

1. **Hydrologické:** průtokové řady, návrhové hydrogramy povodní
2. **Náročky uživatelů vody:**

- **zásobní funkce** $\boldsymbol{O_P, P_{Op}}$ $O_P = O_T + \sum O$ $O_T = MAX\ (Q_{zust}, Q_R, Q_Z, Q_E, Q_P)$

ČSN 75 2405

Třída významnosti	A	B	C	D
Zabezpečenost podle trvání plné dodávky vody P_t [%]	$\geq 99{,}5$	$\geq 98{,}5$	$\geq 97{,}5$	$\geq 95{,}0$

Třída A

- vodovody pro více než 150 tisíc.obyvatel
- jaderná elektrárny a tepelná elektrárny nad 500 MW
- vybrané průmyslové podniky celostátního významu (zejména s nepřetržitým provozem)

Třída B

- vodovody pro 50 tisíc až 150 tisíc obyvatel
- tepelná elektrárny do 500 MW
- průmyslové podniky celostátního významu (mimo podniky dle třídy A bodu c)
- minimální průtoky pod nádrží a minimální potřebný průtok v jiném určeném profilu

Třída C

- vodovody pro méně než 50 tisíc obyvatel
- průmyslové podniky oblastního významu
- živočišná výroba mimo chov ryb a vodní drůbeže

Třída D

- vodní elektrárny (zabezpečenost se vztahuje k dohodnutému průtoku, který se stanovuje individuálně)
- plavba
- místní průmysl a provozovny komunálního hospodářství
- závlahy
- chov ryb a vodní drůbeže
- lesnictví
- rekreace

Nároky uživatelů vody – ochranná funkce

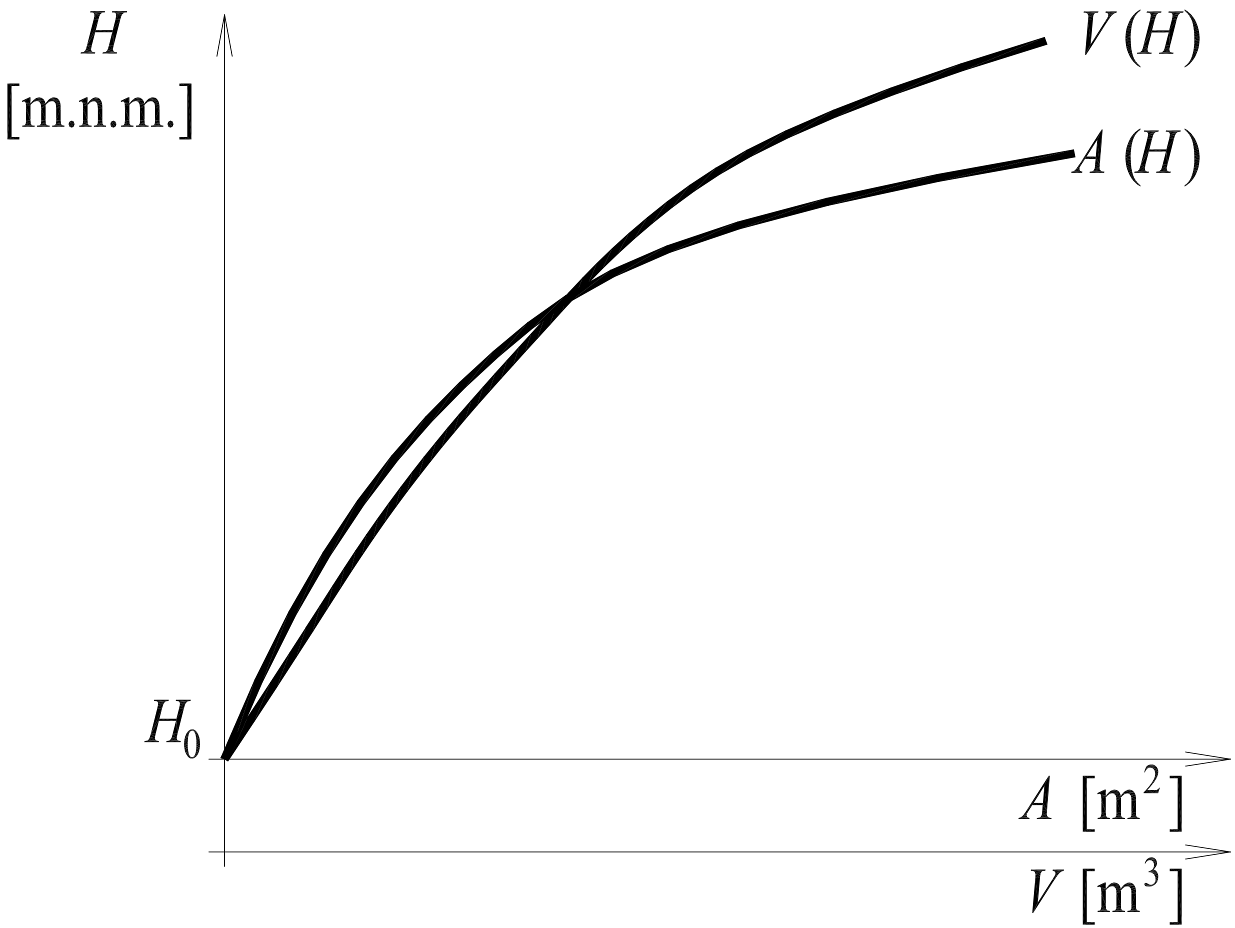
- ochranná funkce O_{NE}, P_{NE} - výše škod, ztráty na lidských životech

TNV 75 2935

Skupina	Podskupina	Výše škod	Hodnotící hlediska	Návrhová povodeň N	Kontrolní povodeň N
A	A/I	Velmi vysoké	Očekávají se ztráty na lidských životech	1000	10000
	A/II		Ztráty na lidských životech nejsou pravděpodobné	500	2000
B	B/I	Vysoké	Očekávají se ztráty na jednotlivých lidských životech	100	1000
	B/II		Ztráty na lidských životech j sou nepravděpodobné	100	200
C	C/I	Nízké	Škody pod vodním dílem a ztráty z užitku vodního díla	10	100
	C/II		Ztráty jen u vlastníka vodního díla, ostatní škody nevýznamné	10	20 až 50

Ostatní podklady

- **geologické podklady, liniové stavby, historické památky, přírodní útvary**
- **batygrafické křivky ,** čára zatopených ploch, čára zatopených objemů



Rozdělení nádrží

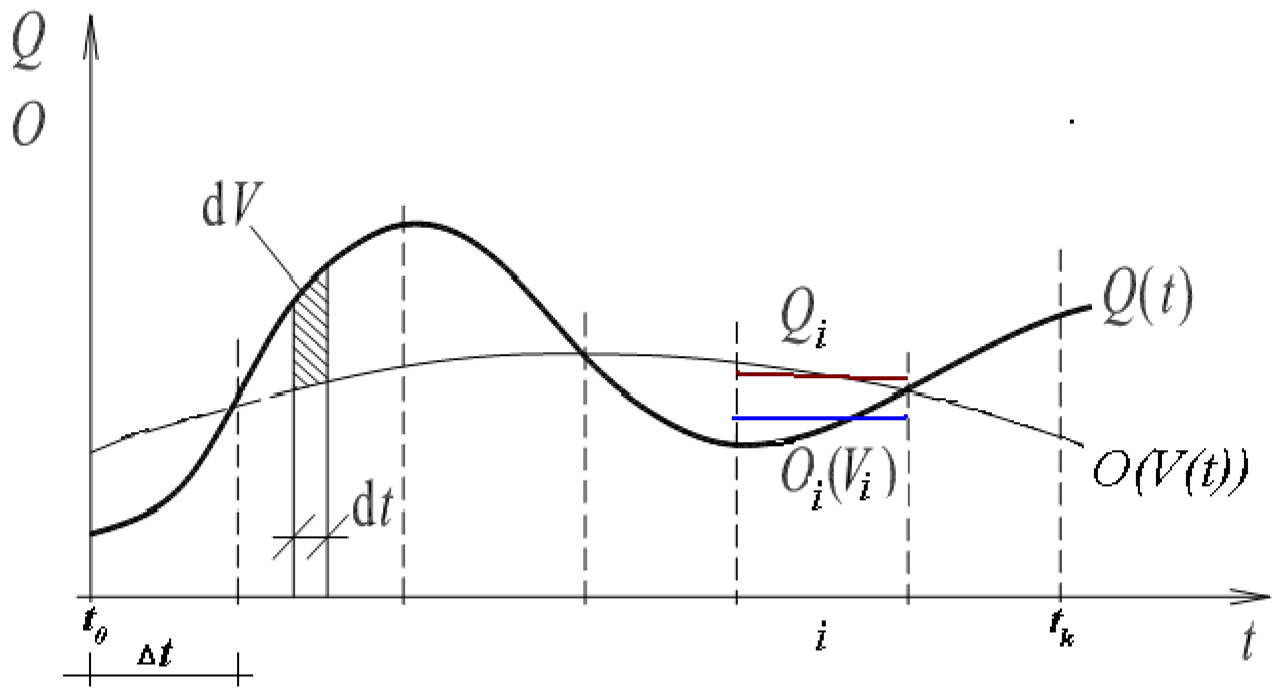
- **Vzniku** - přirozené
  - umělé - neprotékané: vyhloubené, ohrázované, kombinované, boční
  - protékané: údolní, postranní

- **Účelu** - jednoúčelové
  - víceúčelové

- **Cyklu** - nepravidelný : příležitostný odběr, klauzury, nárazové
  - pravidelný: víceletý - VŘO, roční - RŘO, krátkodobý - KŘO

- **Složitosti způsobu řízení**
  - jednoduchý způsob řízení: singl nádrže, izolované nádrže
  - složitý způsob řízení: kaskáda, soustava, kompenzační řízení, převod vody

Základní rovnice nádrže



dV = [Q(t) - O(V(t))] dt

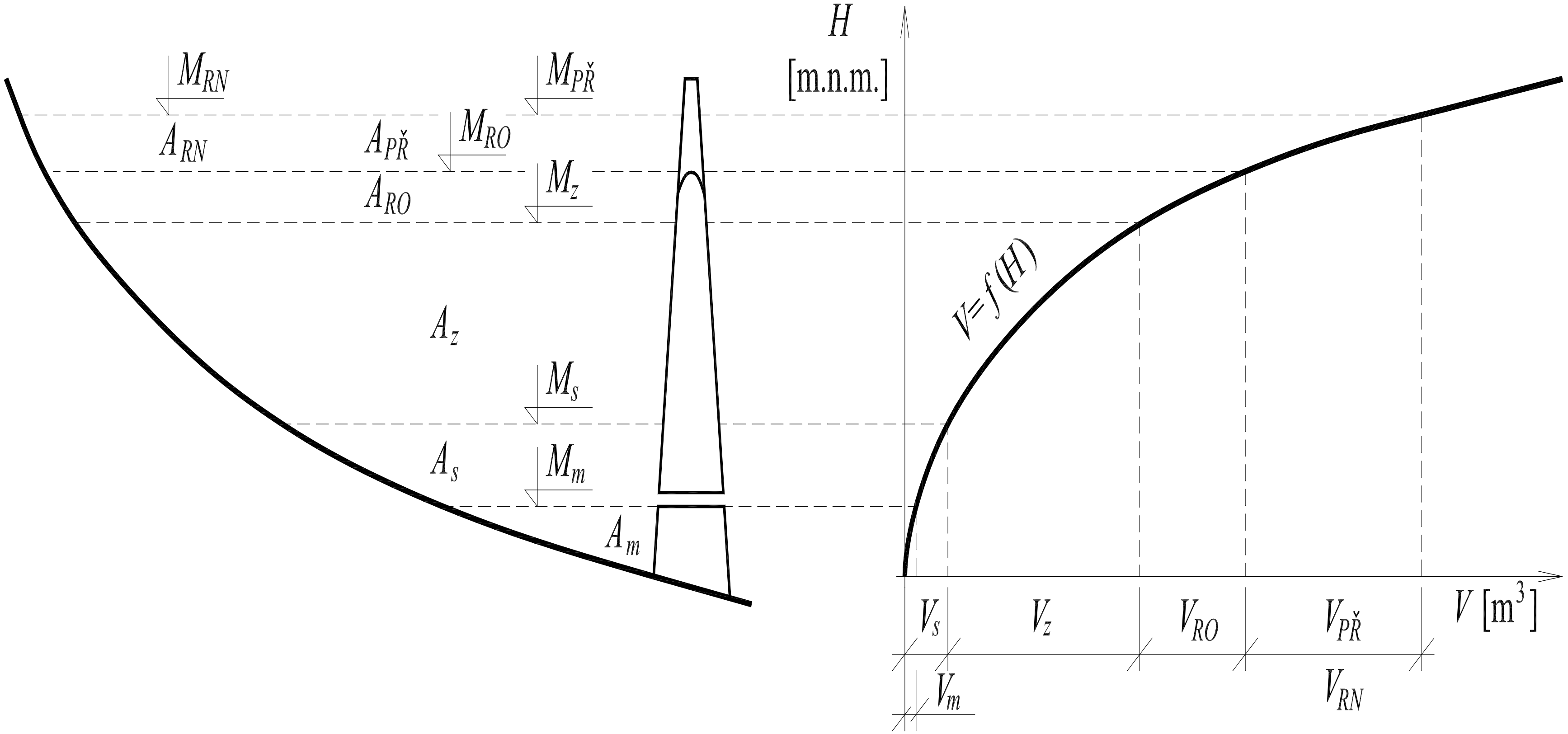
$$\frac{\mathrm{d}\,V}{\mathrm{d}\,t} = Q(t) - O(V(t))$$

$$V(t_k) = V(t_0) + \int_{t_0}^{t_k} [Q(t) - O(V(t))]\ dt$$

$$\frac{\Delta V_i}{\Delta t_i} = Q_i - O_i(V_i)$$

$$V_n = V_0 + \sum_{i=1}^{n} [Q_i - O_i(V_i)] \cdot \Delta t_i$$

Umístění funkčních prostorů v N



Užití simulačního modelu pro vodohospodářské řešení nádrže

Cyklus	Průtoková řada	Zabezpečenost	Počáteční podmínka	Ztráty vody z nádrže	Test na stacionaritu
VŘO	**reálná Q_m** maximální délka III – Q_m x 0,9 IV - Q_m x 0,8	**P_o, P_t, P_d**	**plná N**	**všechny**	**ano**
	umělá Q_m délka 5000 až 10000 let třída A povinná	**P_o, P_t, P_d**	**plná N**	**všechny**	**ne**
RŘO	**reálná Q_m** maximální délka	**P_o, P_t, P_d**	**plná N**	**všechny**	**ano**
	umělá Q_m **délka** 500 až 1000 let	**P_o, P_t, P_d**	**plná N**	**všechny**	**ne**
	návrh. roky (2, 1, 2), (1, 1,1) **P_o = $P_{přítoku}$** **fiktivní rok**	**100 %** max **P_o** **100 %**	**plná N** nebo **prázdná N**	**všechny**	**nemá smysl**
KŘO	**reálná Q_h** délka = délce cyklu	**P_t** = zabezpečenosti přítoku	**prázdná N**	**netěsností uzávěrů**	**nemá smysl**

Ochranná funkce nádrže

Ochranná funkce nádrže

- V_R ; O_{NE} ; P_{NE}
- Transformace PV pomocí V_{RO}
- Transformace PV pomocí V_{RN}
- Vztah mezi b , O_{MAX} a V_{RN} : simulační model,

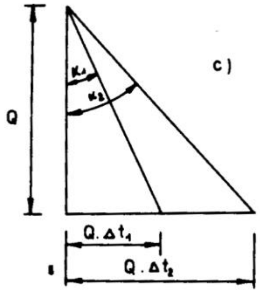
  parametr b, kritérium [$\pi = \text{abs}(O_{MAX} - O_{NE})] \rightarrow \text{MIN}$

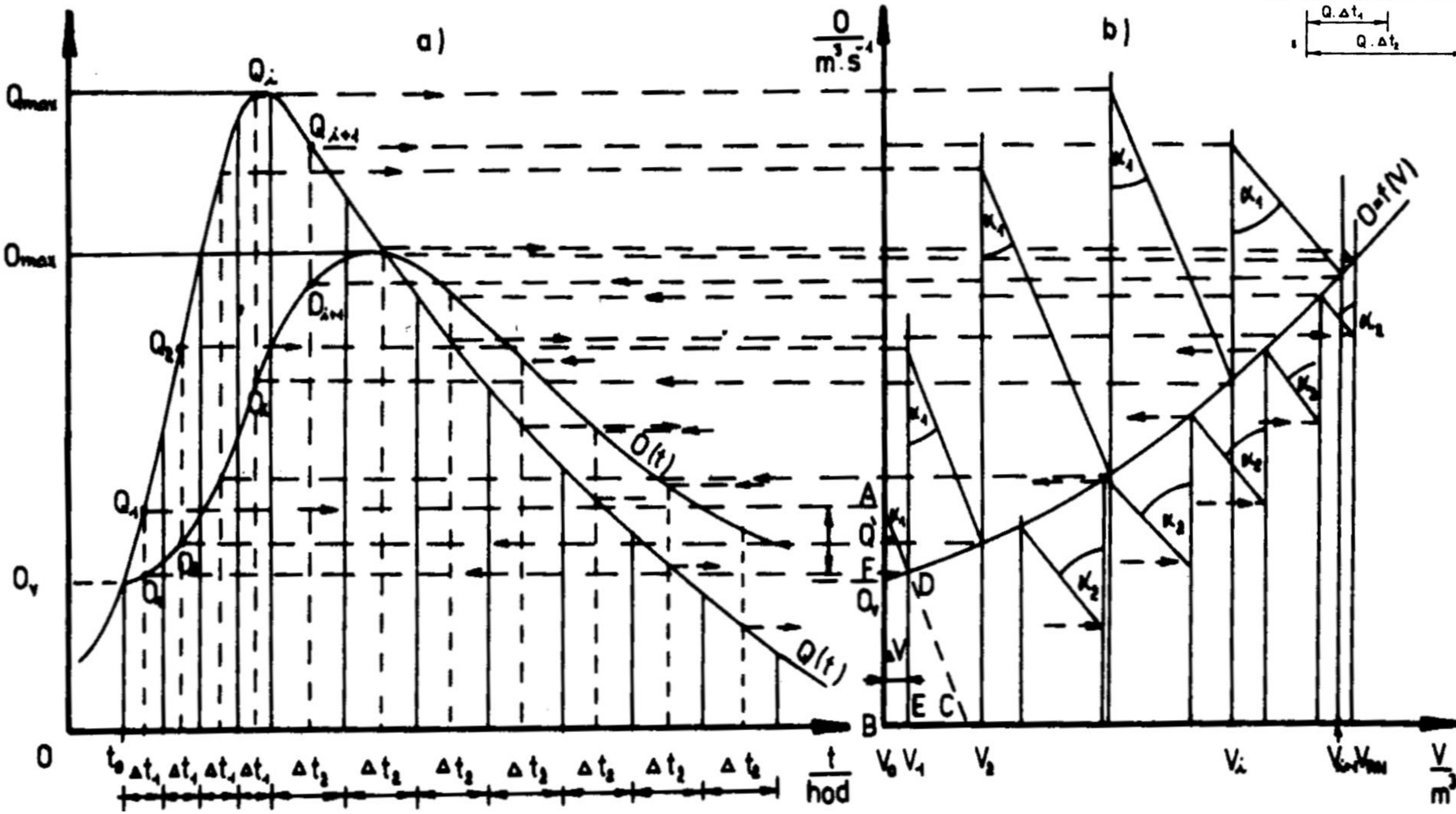
Transformace povodňové vlny podle Klemeše

- Základní rovnice nádrže ve tvaru: $\Delta V_i / \Delta t_i = Q_i - O_i(V_i)$
- Konstrukce transformační čáry ***O(V)*** nad korunou pevného přelivu
- Konstrukce transformačního úhlu α
- Grafické řešení

Transformace povodňové vlny – metoda Klemeše

$$Q_i - O_i\,(V_i) = \frac{\Delta V_i}{\Delta t_i}$$





Transformace povodňové vlny – metoda Runge-Kutta 4. řádu

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q(t) - O(V(t)) \quad \Rightarrow \quad \frac{dV(t)}{dt} = f[t, V(t)]$$

$$V_1 - V_0 = \frac{K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4}{6}$$

$K_1 = \Delta t \cdot f[t, V(t)]$	$K_1 = \Delta t \cdot [Q(t) - O(V(t))]$
$K_2 = \Delta t \cdot f[t + \frac{\Delta t}{2}, V(t) + \frac{K_1}{2}]$	$K_2 = \Delta t \,.[Q(t + \frac{\Delta t}{2}) - O(V(t) + \frac{K_1}{2})]$
$K_3 = \Delta t \cdot f[t + \frac{\Delta t}{2}, V(t) + \frac{K_2}{2}]$	$K_3 = \Delta t \,.[Q(t + \frac{\Delta t}{2}) - O(V(t) + \frac{K_2}{2})]$
$K_4 = \Delta t \cdot f[t + \Delta t, V(t) + K_3]$	$K_4 = \Delta t \,.[Q(t + \Delta t) - O(V(t) + K_3)]$

Ochranná funkce nádrže

- Kombinace V_{RO} a V_{RN} : navrhování, provoz
- Transformace povodňové vlny z níže položené hladiny (Klemeš)
- Manipulace s odtokem spodními výpustmi za průchodu povodně (Klemeš)

- **Návrhová povodeň:** samotný pevný přeliv, ne - V_{RO}, ne - spodní výpusti, ne - odběry, hladina nesmí překročit M_{RN}
- **Kontrolní povodeň:** hladina nesmí překročit $M_{mez.bezp}$, ano - V_{RO}, odtok polovinou spodních výpustí, ano – odběry

Poldry

Protékané: typické uspořádání, křivka *O(h)*

Boční: ekologické povodňování

Manipulační řády

Manipulační řády

Pravidla pro řízení odtoku vody z nádrže v trvalém provozu (TNV 752910)

Určují jak manipulovat s odtokem vody z N za libovolného plnění a libovolného stavu

Etapy zpracování: provizorní, definitivní

Dvě kapitoly týkající se hospodaření: kvantitativní , kvalitativní

Možné způsoby řízení: plánovaný odtok, využití historie – DG, předpověď budoucích průtoků – optimalizace řízení

Dispečerský graf

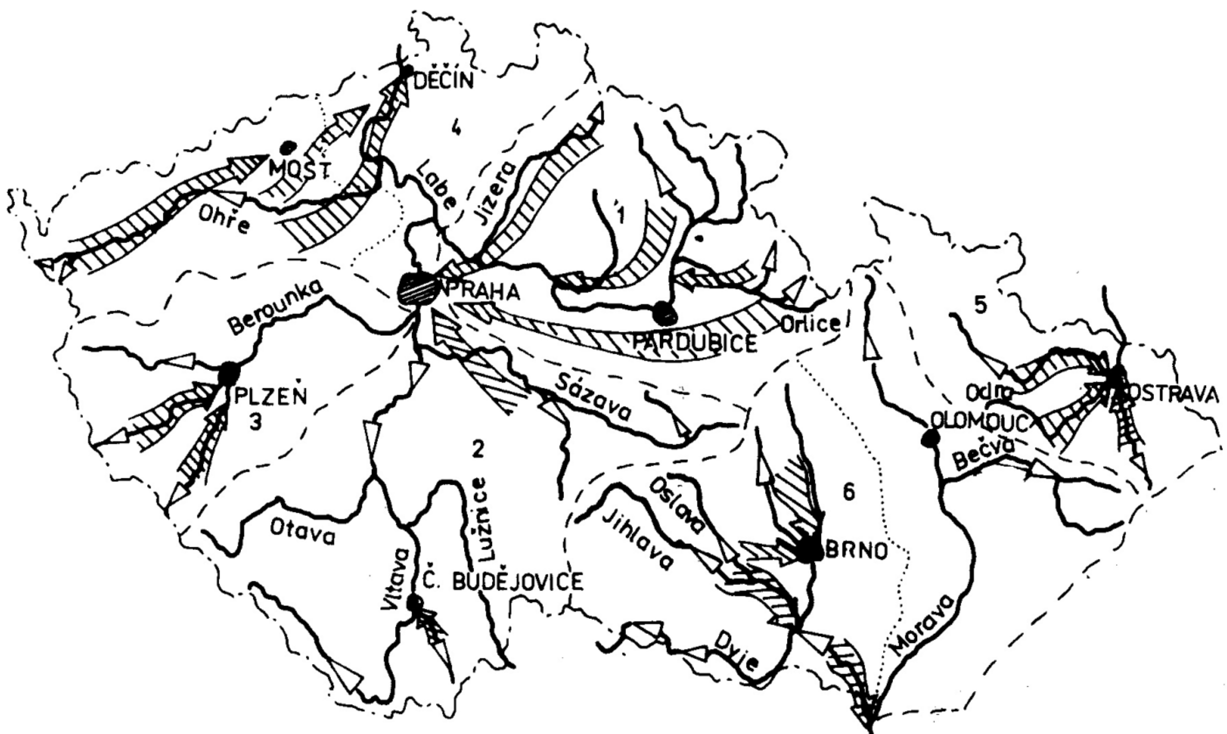
Základní manipulační prostředek, *O(V(t))* , přesnost konstrukce DG , podklad – průtoková řada

- Konstrukce DG - protiporuchová čára, způsob manipulace
- Využití přebytků a nedostatků vody
- Zonální dispečerský graf
- Užití DG pro víceleté řízení odtoku

Vodohospodářské soustavy

Vodohospodářské soustavy (VS)

- Kdy vznikají
- Definice
- Nástroje řízení (tvorba, přerozdělení a ochrana vodních zdrojů)
- VS v ČR
- JVS



Základní znaky VS

Znaky složitého systému

- velký počet prvků a vazeb mezi nimi
- řada funkcí, které plní
- dekompozice (horizontální, vertikální)
- etapy plánování (rozlišovací úroveň)
- nutnost existence automatizovaného informačního systému
- otevřený systém s vazbami na okolí
- efekty řízení se promítají do jiných rezortů a se zpožděním

Znaky matematického rázu

- nelinearita řídících rovnic
- diskrétní charakter většiny parametrů
- dynamické vlastnosti
- pravděpodobnostní charakter vstupů
- kromě kvantity i jakost vody

Obecný postup řešení VS

1. Analýza současného stavu VS
2. Stanovení cíle řešení
3. Formulace problému (úlohy optimálního řízení a rozvoje VS)
4. Definice systému (schematizace povodí)
5. Analýza struktury a chování systému (často variantní řešení)
   - návrhové varianty řešení
   - vytvoření matematických modelů jednotlivých variant
   - analýza (vyřešení) jednotlivých variant
   - výběr nejvýhodnější varianty

6. Implementce výsledků řešení do praxe

Definice systému

Konstrukce **orientovaného ohodnoceného** grafu **G(N, H)**

$$\mathbf{N} = \mathbf{Z} + \mathbf{U1} + \mathbf{U2} + \mathbf{O}$$

Popis vrcholů

$n_i \in \mathbf{N}$ $\quad n_i \in \mathbf{Z}$ $\quad n_i \in \mathbf{U1}$ $\quad n_i \in \mathbf{U2}$ $\quad n_i \in \mathbf{O}$

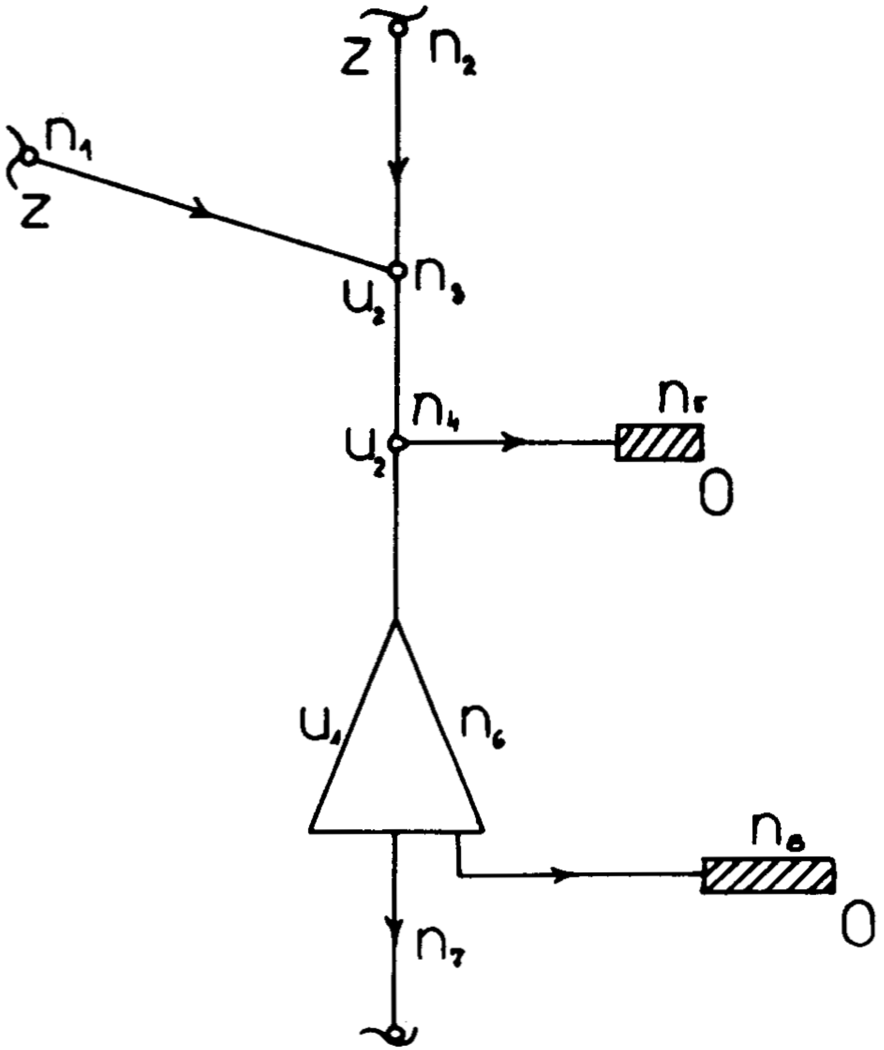
nebo

$z_i \in \mathbf{Z}$ $\quad u1_i \in \mathbf{U1}$ $\quad u2_i \in \mathbf{U2}$ $\quad o_i \in \mathbf{O}$

Popis hran

$n_i\,,\ n_j \in \mathbf{H}$ nebo $h_{i,j} \in \mathbf{H}$

Schematizace subsystému – G(N, H)



Obecně

$z \in \mathbf{Z}$

$u_1 \in \mathbf{U1}$

$u_2 \in \mathbf{U2}$

$o \in \mathbf{O}$

Po očíslování vrcholů

$n_1 ; n_2 \in \mathbf{Z}$

$n_3 ; n_4 \in \mathbf{U2}$

$n_6 \in \mathbf{U1}$

$n_5 ; n_7 ; n_8 \in \mathbf{O}$

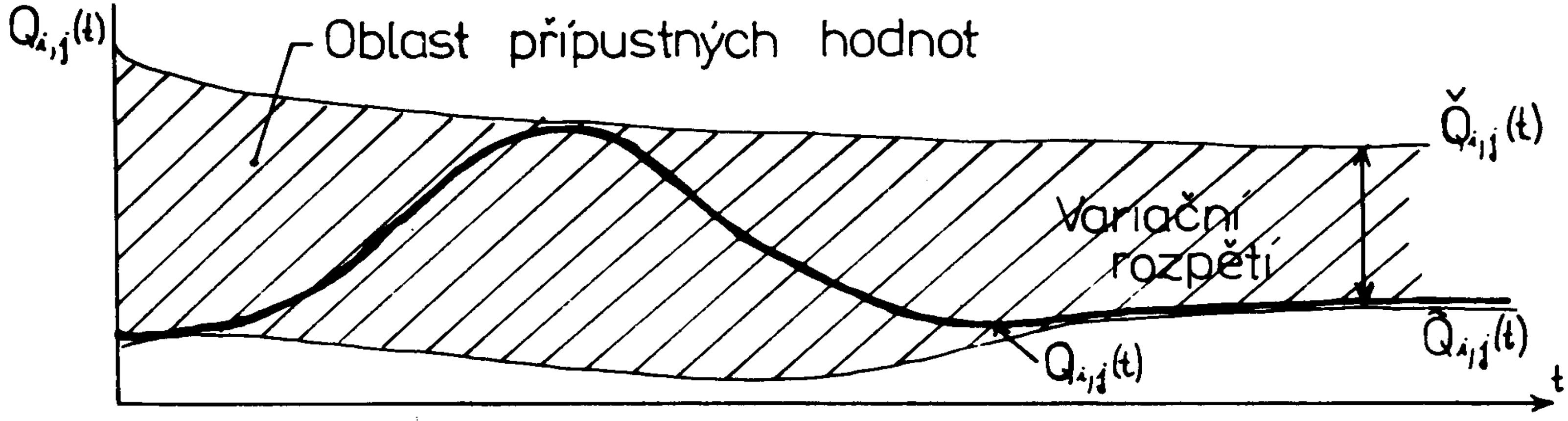
Hrany

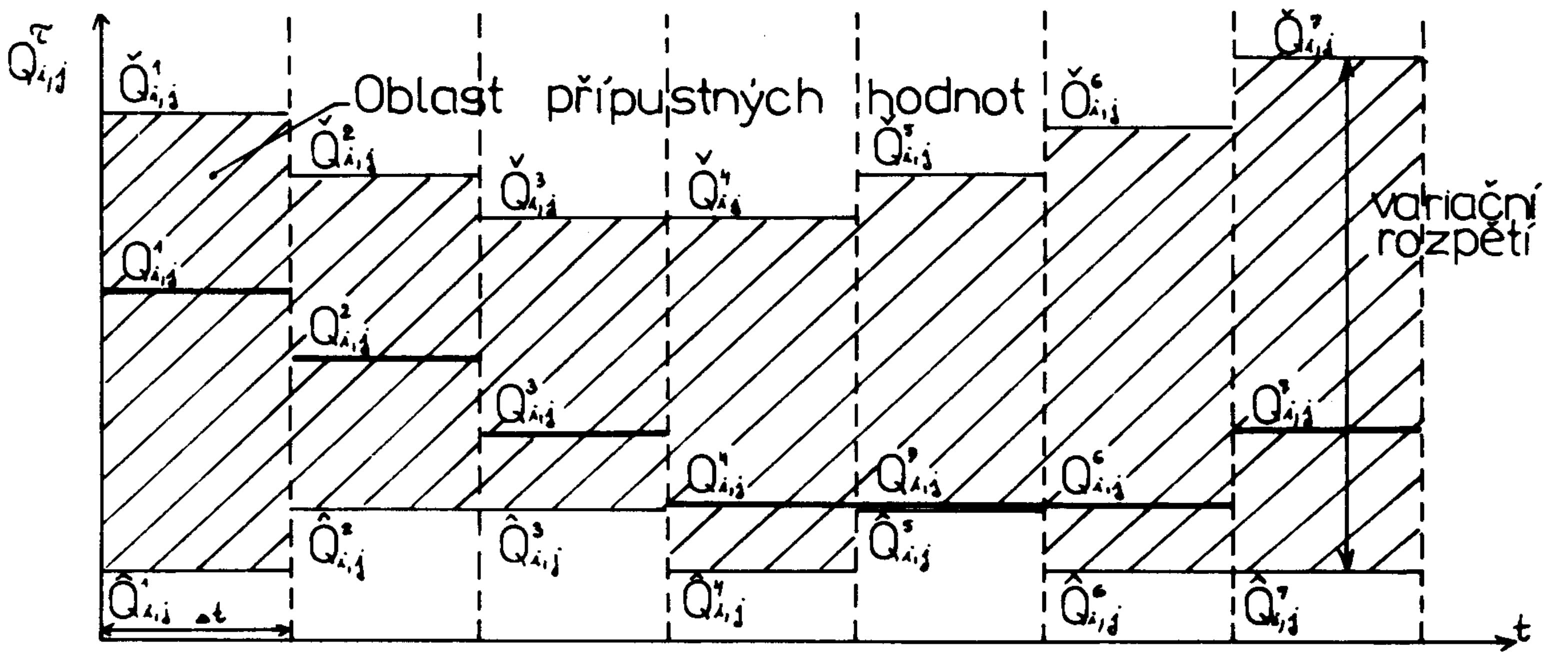
$h_{1,3} \in \mathbf{H}$ $h_{2,3} \in \mathbf{H}$ $h_{3,4} \in \mathbf{H}$

$h_{4,5} \in \mathbf{H}$ $h_{4,6} \in \mathbf{H}$ $h_{6,7} \in \mathbf{H}$

$h_{6,8} \in \mathbf{H}$

Ohodnocení G(N, H)





Ohodnocení G(N, H)

Zdroje vody

$$\underline{Q}_i = \left(Q_i^1 \;,\; Q_i^2 \;,\dots\dots\dots, Q_i^N \right) \qquad \forall n_i \in \mathbf{Z}$$

Vnitřní hrany grafu

$$\underline{\hat{Q}}_{i,j} = \left(\hat{Q}_{i,j}^1 \;,\; \hat{Q}_{i,j}^2 ,\dots\dots, \hat{Q}_{i,j}^N \right) \;\; a \;\; \underline{\check{Q}}_{i,j} = \left(\check{Q}_{i,j}^1 \;,\; \check{Q}_{i,j}^2 ,\dots\dots, \check{Q}_{i,j}^N \right) \qquad \forall h_{i,j} \in \mathbf{VH}$$

Vrcholy s akumulací - nádrže

$$\underline{\hat{V}}_j = \left(\hat{V}_j^1 \;,\; \hat{V}_j^2 \;,\dots\dots\dots, \hat{V}_j^N \right) \;\; a \;\; \underline{\check{V}}_j = \left(\check{V}_j^1 \;,\; \check{V}_j^2 \;,\dots\dots\dots, \check{V}_j^N \right) \qquad \forall n_j \in \mathbf{U1}$$

Odběratelé

$$\underline{\hat{Q}}_i = \left(\hat{Q}_i^1 \;,\; \hat{Q}_i^2 \;,\dots\dots\dots, \hat{Q}_i^N \right) \;\; a \;\; \underline{\check{Q}}_i = \left(\check{Q}_i^1 \;,\; \check{Q}_i^2 \;,\dots\dots\dots, \check{Q}_i^N \right) \qquad \forall n_i \in \mathbf{O}$$

1. Úloha optimálního řízení systému zásobení vodou (SZV)

Úlohu je možno formulovat jako nalezení vektorů:

$$\underline{Q}_{z,j} = \left(Q^{1}_{z,j}, Q^{2}_{z,j}, \ldots\ldots, Q^{N}_{z,j}\right), \forall z \in \mathbf{Z},\ n_j \in \mathbf{U},$$

$$\underline{Q}_{i,j} = \left(Q^{1}_{i,j}, Q^{2}_{i,j}, \ldots\ldots, Q^{N}_{i,j}\right), \forall n_i, n_j \in \mathbf{U},$$

$$\underline{Q}_{i,o} = \left(Q^{1}_{i,o}, Q^{2}_{i,o}, \ldots\ldots, Q^{N}_{i,o}\right), \forall o \in \mathbf{O},\ n_i \in \mathbf{U},$$

$$\underline{V}_{j} = \left(V^{1}_{j}, V^{2}_{j}, \ldots\ldots\ldots\ldots, V^{N}_{j}\right), \forall n_j \in \mathbf{U1},$$

$$\underline{X} = \left(\underline{Q}_{z,j}, \underline{Q}_{i,j}, \underline{Q}_{i,o}, \underline{V}_{j}\right)$$ - vektor neznámých

1. Úloha optimálního řízení SZV - pokračování

pro jejichž prvky v pořadí τ = 1,2, ……. , N platí:

rovnice

$$\sum Q^{\tau}_{z,j} = Q^{\tau}_{z}, \quad \forall z \in \mathbf{Z},\ n_j \in \mathbf{U}$$

$$\sum_{\forall h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{\forall h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} = 0, \quad \forall n_j \in \mathbf{U2}$$

$$\sum_{\forall h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{\forall h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} = \frac{V^{\tau}_{j}}{\Delta t} - \frac{V^{\tau-1}_{j}}{\Delta t},$$

$$\forall n_j \in \mathbf{U1},\ n_i, n_k \in \mathbf{N}$$

1. Úloha optimálního řízení SZV - pokračování

a nerovnosti

$$\hat{Q}^{\tau}_{i,j} \leq Q^{\tau}_{i,j} \leq \check{Q}^{\tau}_{i,j}, \qquad \forall n_i \;, \; n_j \in \mathbf{U}$$

$$\hat{Q}^{\tau}_{o} \leq \sum Q^{\tau}_{i,o} \leq \check{Q}^{\tau}_{o}, \qquad \forall o \in \mathbf{O}, \;\; n_i \in \mathbf{U}$$

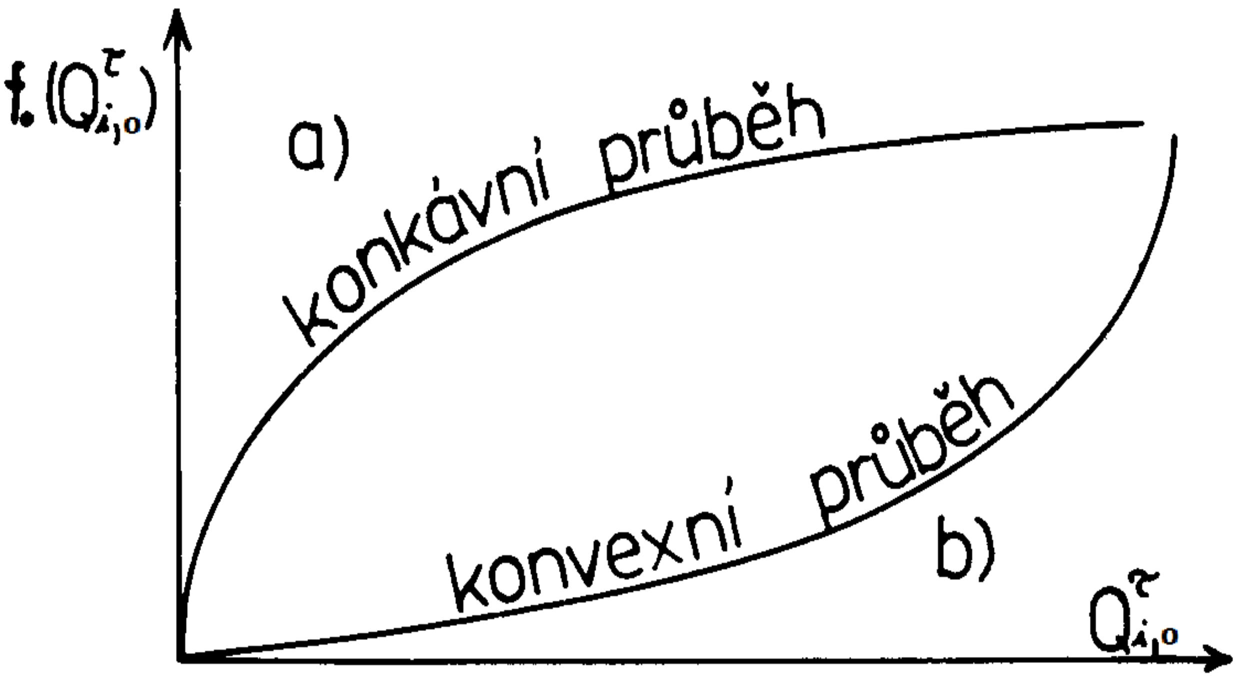
$$\hat{V}^{\tau}_{j} \leq V^{\tau}_{j} \leq \check{V}^{\tau}_{j}, \qquad \forall n_j \in \mathbf{U1}$$

1. Úloha optimálního řízení SZV - pokračování

a kriteriální funkce dosahuje extrému

- technicko ekonočtí ukazatelé

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in 0} \sum_{\tau=1}^{N} f_o\left(Q_{i,o}^{\tau}\right)\right] \rightarrow MAX \;\; (MIN)$$



1. Úloha optimálního řízení SZV - pokračování

Počáteční podmínky řešení

$$V_j^0, \quad \forall n_j \in U1$$

Okrajové podmínky řešení

$$Q_z^\tau, \quad \forall z \in \mathbf{Z}$$

Musí platit:

Δt >> doba dotoku vody hranami grafu !!!!!!!!

1. Úloha optimálního řízení SZV - kriteriální funkce

V technických ukazatelích

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in 0} \sum_{\tau=1}^{N} \left(\overset{\vee}{Q}{}_{o}^{\tau} - Q_{i,o}^{\tau} \right)^2 \right] \rightarrow MIN$$

V penalizačním tvaru

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in 0} \sum_{\tau=1}^{N} f_o \left(\overset{\vee}{Q}{}_{o}^{\tau} - Q_{i,o}^{\tau} \right) \right] \rightarrow MIN$$

Pomocí zabezpečeností

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in 0} \left(P_o[\cdot] - P_o^N \right)^2 + \sum_{\forall h_{i,j} \in VH} \left(P_{i,j}[\cdot] - P_{i,j}^N \right)^2 \right] \rightarrow MIN$$

1. Úloha optimálního řízení SZV - shrnutí

$$\underline{X} = \left(\underline{Q}_{z,j},\ \underline{Q}_{i,j},\ \underline{Q}_{i,o},\ \underline{V}_j\right)$$

- hledaný vektor neznámých

pro jehož prvky v pořadí $\tau = 1,2, \ldots\ldots, N$ platí:

rovnice

$$\sum Q^{\tau}_{z,j} = Q^{\tau}_{z}, \quad \forall z \in \mathbf{Z},\ n_j \in \mathbf{U}$$

$$\sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} = 0, \quad \forall n_j \in \mathbf{U2}$$

$$\sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} = \frac{V^{\tau}_{j}}{\Delta t} - \frac{V^{\tau-1}_{j}}{\Delta t}, \quad \forall n_j \in \mathbf{U1},\ n_i, n_k \in \mathbf{N}$$

Počáteční podmínky

$$V^{0}_{j}, \quad \forall n_j \in U1$$

Okrajové podmínky

$$Q^{\tau}_{z}, \quad \forall z \in \mathbf{Z}$$

- kriteriální funkce

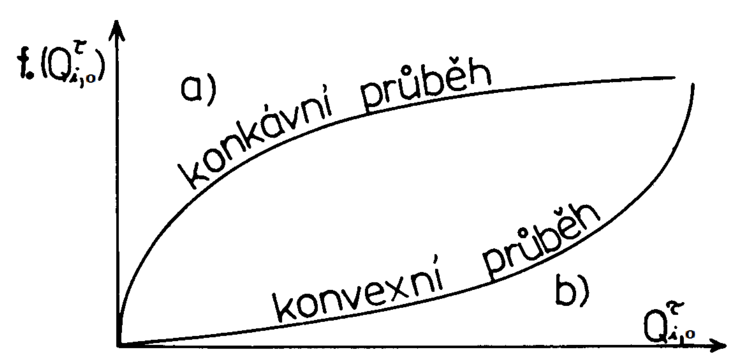
$$\left[\pi = \sum_{o \in 0} \sum_{\tau=1}^{N} f_o\left(Q^{\tau}_{i,o}\right)\right] \rightarrow MAX \ \ (MIN)$$

a nerovnosti

$$\hat{Q}^{\tau}_{i,j} \le Q^{\tau}_{i,j} \le \check{Q}^{\tau}_{i,j}, \quad \forall n_i\ ,\ n_j \in \mathbf{U},\ \forall n_i \in \mathbf{Z}$$

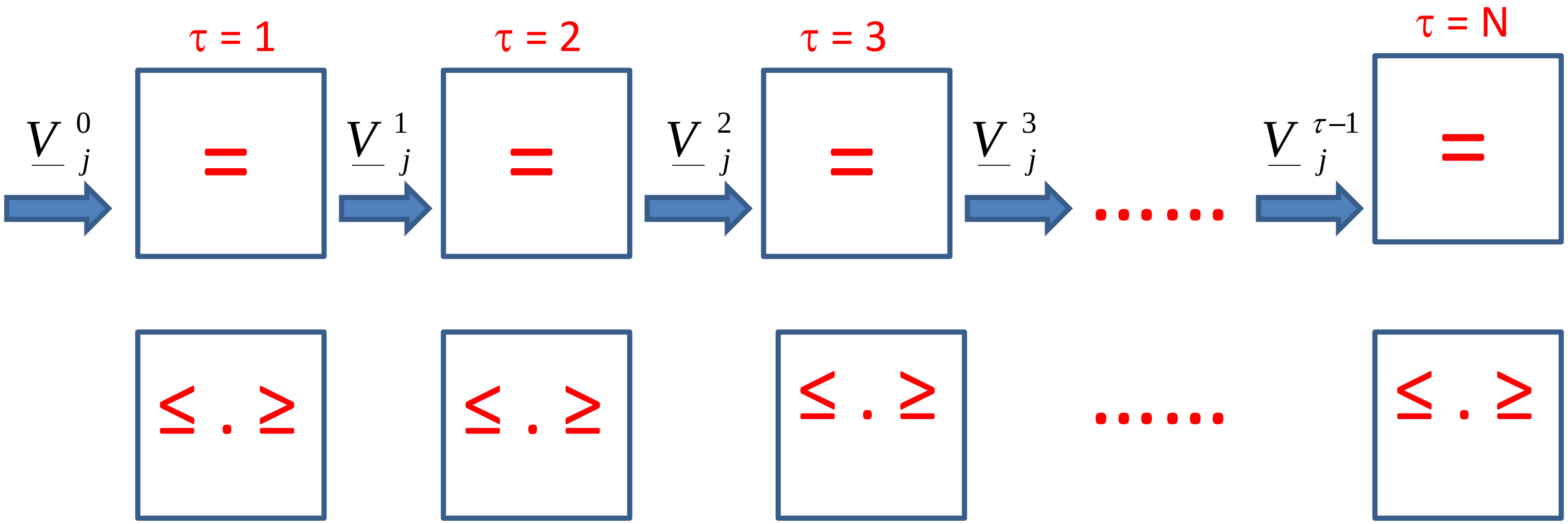
$$\hat{Q}^{\tau}_{o} \le \sum Q^{\tau}_{i,o} \le \check{Q}^{\tau}_{o}, \quad \forall o \in \mathbf{O},\ n_i \in \mathbf{U}$$

$$\hat{V}^{\tau}_{j} \le V^{\tau}_{j} \le \check{V}^{\tau}_{j}, \quad \forall n_j \in \mathbf{U1}$$



Úloha optimálního řízení SZV - schéma

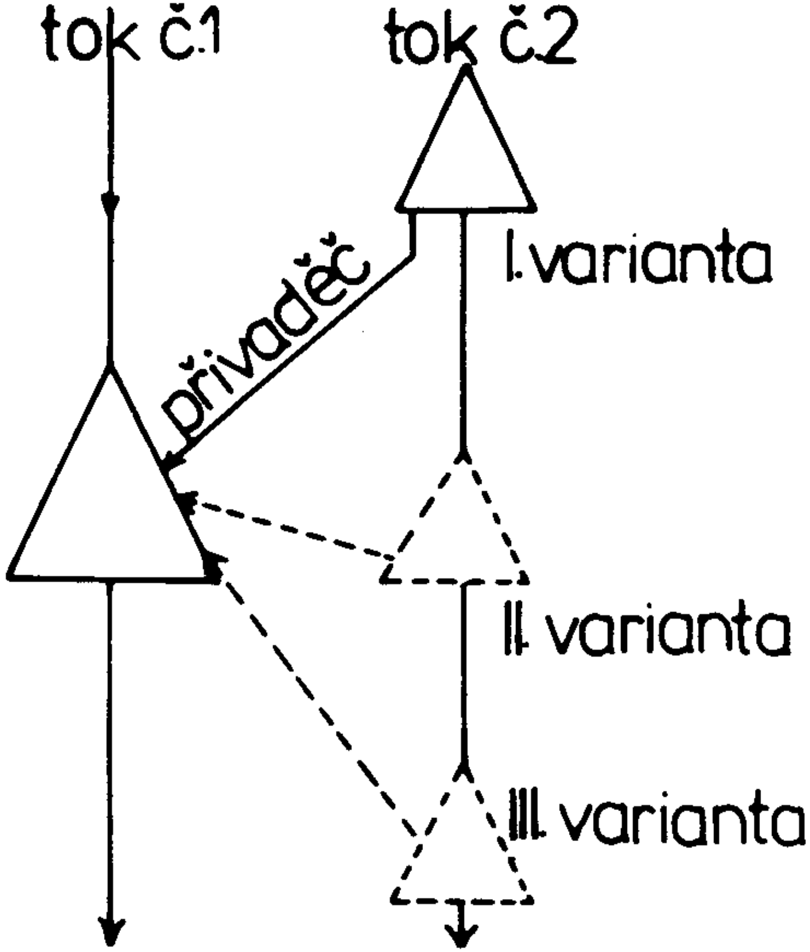
$$\underline{X} = \left(\underline{Q}_{z,j},\ \underline{Q}_{i,j},\ \underline{Q}_{i,o},\ \underline{V}_j\right)$$



[π]→ MIN (MAX)

2. Úloha optimálního rozvoje SZV

Variantní řešení



2. Úloha optimálního rozvoje SZV - pokračování

Úlohu je možno formulovat jako nalezení vektorů, popisujících tok vody grafem G(N, H)

$$\underline{Q}_{z,j} = \left(Q^{1}_{z,j}, Q^{2}_{z,j}, \ldots\ldots, Q^{N}_{z,j}\right), \quad \forall z \in \mathbf{Z},\ n_j \in \mathbf{U},$$

$$\underline{Q}_{i,j} = \left(Q^{1}_{i,j}, Q^{2}_{i,j}, \ldots\ldots\ldots, Q^{N}_{i,j}\right), \quad \forall n_i, n_j \in \mathbf{U},$$

$$\underline{Q}_{i,o} = \left(Q^{1}_{i,o}, Q^{2}_{i,o}, \ldots\ldots\ldots, Q^{N}_{i,o}\right), \quad \forall o \in \mathbf{O},\ n_i \in \mathbf{U},$$

$$\underline{V}_{j} = \left(V^{1}_{j}, V^{2}_{j}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, V^{N}_{j}\right), \quad \forall n_j \in \mathbf{U1},$$

2. Úloha optimálního rozvoje SZV - pokračování

a neznámých ohodnocení

$$\boxed{\begin{array}{ll} \check{Q}_{i,j}, & \forall\, h_{i,j} \in \mathbf{NH} \\ \check{Q}_{o}, & \forall\, o \in \mathbf{NO} \\ \check{V}_{j}, & \forall\, n_{j} \in \mathbf{NU1} \end{array}}$$

které dohromady tvoří rozšířený vektor neznámých

$$\underline{X} = \left(\underline{Q}_{z,j},\ \underline{Q}_{i,j},\ \underline{Q}_{i,o},\ \underline{V}_{j},\ \boxed{\check{Q}_{i,j},\ \check{Q}_{o},\ \check{V}_{j}} \right)$$

2. Úloha optimálního rozvoje SZV - pokračování

pro jejichž prvky v pořadí $\tau = 1,2, \ldots\ldots, N$ platí:

rovnice

$$\sum Q_{z,j}^{\tau} = Q_{z}^{\tau}, \quad \forall z \in \mathbf{Z},\ n_j \in \mathbf{U}$$

$$\sum_{\forall h_{i,j} \in A(j)} Q_{i,j}^{\tau} - \sum_{\forall h_{j,k} \in B(j)} Q_{j,k}^{\tau} = 0, \quad \forall n_j \in \mathbf{U2}$$

$$\sum_{\forall h_{i,j} \in A(j)} Q_{i,j}^{\tau} - \sum_{\forall h_{j,k} \in B(j)} Q_{j,k}^{\tau} = \frac{V_j^{\tau}}{\Delta t} - \frac{V_j^{\tau-1}}{\Delta t},$$

$$\forall n_j \in \mathbf{U1},\ n_i, n_k \in \mathbf{N}$$

2. Úloha optimálního rozvoje SZV - pokračování

a nerovnosti

$$\hat{Q}{}^{\tau}_{i,j} \leq Q^{\tau}_{i,j} \leq \overset{\vee}{Q}{}^{\tau}_{i,j}, \qquad \forall n_i \,,\, n_j \in \mathbf{U}$$

$$\hat{Q}{}^{\tau}_{o} \leq \sum Q^{\tau}_{i,o} \leq \overset{\vee}{Q}{}^{\tau}_{o}, \qquad \forall o \in \mathbf{O}, \;\; n_i \in \mathbf{U}$$

$$\hat{V}{}^{\tau}_{j} \leq V^{\tau}_{j} \leq \overset{\vee}{V}{}^{\tau}_{j}, \qquad \forall n_j \in \mathbf{U1}$$

$$\overset{\vee}{Q}{}^{MIN}_{i,j} \leq \overset{\vee}{Q}_{i,j} \leq \overset{\vee}{Q}{}^{MAX}_{i,j} \qquad \forall h_{i,j} \in \mathbf{NH}$$

$$\overset{\vee}{Q}{}^{MIN}_{o} \leq \overset{\vee}{Q}_{o} \leq \overset{\vee}{Q}{}^{MAX}_{o}, \qquad \forall o \in \mathbf{NO}$$

$$\overset{\vee}{V}{}^{MIN}_{j} \leq \overset{\vee}{V}_{j} \leq \overset{\vee}{V}{}^{MAX}_{j}, \qquad \forall n_j \in \mathbf{NU1}$$

$$\sum_{\forall z \in Z} \sum_{\tau = 1}^{N} Q^{\tau}_{z} \,.\, \Delta t \;\geq\; \sum_{\forall z \in O} \sum_{\tau = 1}^{N} Q^{\tau}_{i,o} \,.\, \Delta t \;, \qquad \forall z, \; \forall o$$

2. Úloha optimálního rozvoje SZV - kriteriální funkce

a kriteriální funkce dosahuje extrému

- **Technicko - ekonomičtí ukazatelé**

$$\left[\pi = \sum_{\forall n_j \in NU1} f_j\left(\check{V}_j\right) + \sum_{\forall n_j \in U1} \sum_{\tau=1}^{N} F_j\left(V_j^{\tau}\right) + \sum_{\forall h_{i,j} = NH} \varphi_{i,j}\left(\check{Q}_{i,j}\right) + \sum_{\forall h_{i,j} \in H} \sum_{\tau=1}^{N} \phi_{i,j}\left(Q_{i,j}^{\tau}\right)\right] \rightarrow MIN$$

- **Zabezpečenosti**

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in 0} \left(P_o[\cdot] - P_o^N\right)^2 + \sum_{\forall h_{i,j} \in H} \left(P_{i,j}[\cdot] - P_{i,j}^N\right)^2\right] \rightarrow MIN$$

2. Úloha optimálního rozvoje SZV - pokračování

Počáteční podmínky řešení

$$V_j^0, \quad \forall n_j \in U1$$

Okrajové podmínky řešení

$$Q_z^\tau, \quad \forall z \in \mathbf{Z}$$

Opět musí platit:

Δt >> doba dotoku vody hranami grafu !!!!!!!!

2. Úloha optimálního rozvoje SZV - shrnutí

$$\underline{X} = \left(\underline{Q}_{z,j},\ \underline{Q}_{i,j},\ \underline{Q}_{i,o},\ \underline{V}_j,\ \boxed{\check{Q}_{i,j},\ \check{Q}_o,\ \check{V}_j}\right)$$ - hledaný vektor neznámých

pro jehož prvky v pořadí τ = 1,2, ……. , N platí:

rovnice

$$\sum Q^{\tau}_{z,j} = Q^{\tau}_{z}, \quad \forall z \in \mathbf{Z},\ n_j \in \mathbf{U}$$

$$\sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} = 0, \quad \forall n_j \in \mathbf{U2}$$

$$\sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{jmk} = \frac{V^{\tau}_{j}}{\Delta t} - \frac{V^{\tau-1}_{j}}{\Delta t}, \quad \forall n_j \in \mathbf{U1},\ n_i, n_k \in \mathbf{N}$$

a nerovnosti

$$\hat{Q}^{\tau}_{i,j} \le Q^{\tau}_{i,j} \le \check{Q}^{\tau}_{i,j}, \quad \forall n_i,\ n_j \in \mathbf{U},\ \forall n_i \in \mathbf{Z}$$

$$\hat{Q}^{\tau}_{o} \le \sum Q^{\tau}_{i,o} \le \check{Q}^{\tau}_{o}, \quad \forall o \in \mathbf{O},\ \forall n_i \in \mathbf{U}$$

$$\hat{V}^{\tau}_{j} \le V^{\tau}_{j} \le \check{V}^{\tau}_{j}, \quad \forall n_j \in \mathbf{U1}$$

Počáteční podmínky

$$V^{0}_{j}, \quad \forall n_j \in U1$$

Okrajové podmínky

$$Q^{\tau}_{z}, \quad \forall z \in \mathbf{Z}$$

$$\check{Q}^{MIN}_{i,j} \le \check{Q}_{i,j} \le \check{Q}^{MAX}_{i,j} \qquad \forall h_{i,j} \in \mathbf{NH}$$

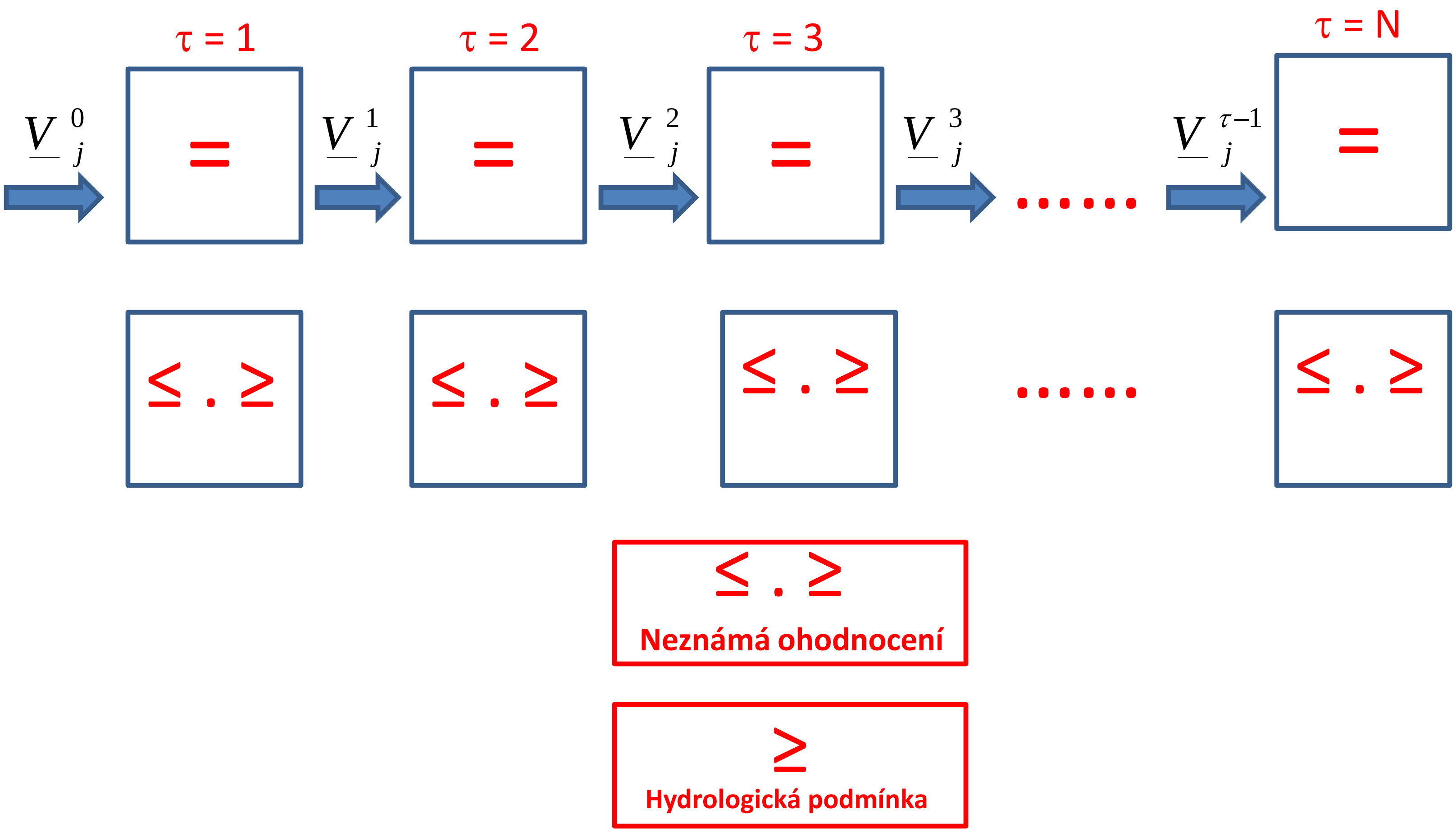
$$\check{Q}^{MIN}_{o} \le \check{Q}_{o} \le \check{Q}^{MAX}_{o}, \qquad \forall o \in \mathbf{NO}$$

$$\check{V}^{MIN}_{j} \le \check{V}_{j} \le \check{V}^{MAX}_{j}, \qquad \forall n_j \in \mathbf{NU1}$$

$$\boxed{\sum_{z \in Z} \sum_{\tau=1}^{N} Q^{\tau}_{z} \,.\, \Delta t \ \ge\ \sum_{z \in O} \sum_{\tau=1}^{N} Q^{\tau}_{i,o} \,.\, \Delta t, \quad \forall z,\ \forall o}$$

Úloha optimálního rozvoje SZV - schéma

$$\underline{X} = \left(\underline{Q}_{z,j},\ \underline{Q}_{i,j},\ \underline{Q}_{i,o},\ \underline{V}_j,\ \boxed{\check{Q}_{i,j},\ \check{Q}_o,\ \check{V}_j} \right)$$

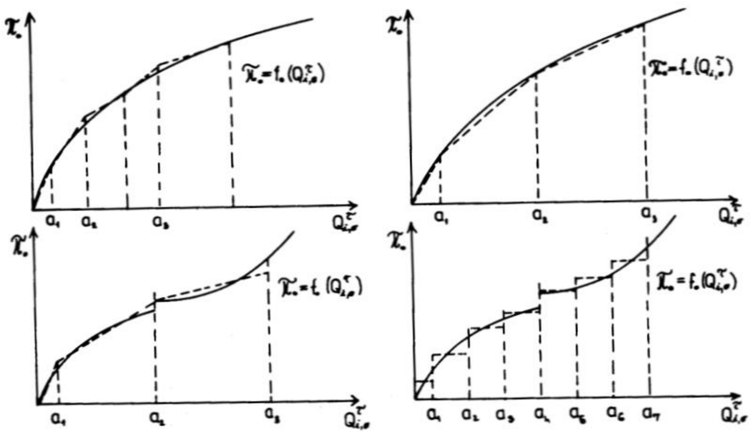


[π] → MIN (MAX)

Úlohy optimálního řízení a optimálního rozvoje SZV - metody řešení

A. Přímé optimalizační metody

- **Lineární programování**
  bivalentní celočíselné programování



- **Nelineární programování**
  mřížková metoda
  Monte Carlo
  gradientní metody
  negradientní metody
  genetické algoritmy
  evoluční algoritmy

Nezadává se způsob řízení systému – vyplyne z optimalizace !!!!

B. Simulační model

Nutno zadat způsob řízení systému (pravidla řízení) !!!!

Optimalizační metody X simulační model - použití

A. Přímé optimalizační metody (POM)

- Naleznou limitní možnosti systému při optimálním řízení
- Nehodí se pro řešení v dlouhých časových řadách (poddimenzují systém na úrovni projektu). Nevhodné pro úlohy optimálního rozvoje
- Vhodné pro úlohy optimálního řízení SZV v krátkých předpovězených časových řadách (adaptivní způsob řízení)

B. Simulační model (SM)

- Respektuje budoucí způsob řízení (řízení napodobuje reálné řízení)
- Vhodný pro řešení v dlouhých časových řadách - pro úlohy optimálního rozvoje
- Značný počet řešených variant

Kombinace POM a SM

- Pomocí POM se nalezne násada pro SM, pomocí SM se pak v jejím okolí úloha dořeší
- Pomocí POM se hledají neznámé parametry v SM
- Pomocí POM lze optimalizovat řízení v SM

Souběžné řešení více účelů na VS

Elastická kriteriální funkce

vede k jednoznačnému nalezení optimální varianty, avšak jeho vytvoření je problematické

Kompromisní řešení

určuje optimální variantu ze vztahu dílčích kriteriálních funkcí s různými vahami řešení - např. Saskova metoda

Jeden účel hlavní

ostatní účely se respektují formou ohodnocení (např. přípustná plnění nádrží v rámci roku)