

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering

Ing. Iva Čiháková, CSc.

Očekávaný vývoj v zásobování a distribuci pitné vody v České republice

Expected Development in the Drinking Water Supply and Distribution in the Czech Republic

Summary

The information on the anticipated development of the supply and distribution of drinking water in the Czech Republic is very important especially considering the development planning of the specific regions, the decision-making about and design of the water supply systems, their capacity and size, and is of course also crucial in planning the drinking water sources and pricing policy as well as for the economy of the water management facilities.

Drinking water is modified natural water, which is an exhaustible resource. Due to pollution of water resources there will soon be a shortage of natural water suitable for the production of drinking water and that is why it is necessary to avoid any waste of water in the future. For an efficient water management it is important to analyze the future drinking water needs and rationalize the distribution of produced drinking water with an emphasis placed on minimizing any water loss.

A new method for predicting drinking water needs has been developed to determine drinking water needs in years to come. This method is mostly based on modeling short-term drinking water needs, predicted upon synthetic water needs series derived from past water consumptions in the relevant area. The second part of the model comes up with a long-term prediction of drinking water needs, based on determining the drinking water needs trend. This trend, related to the development of water needs, may be dealt with either in a traditional manner using mathematical statistics to extrapolate the trend from the past water consumptions or, alternatively, the development of water needs may be determined in terms of other parameters, such as the population growth – for some regions the development of water needs and the population growth exhibit a very close correlation. The combination of a short-term and long-term prediction of drinking water needs resulted in a sophisticated model of drinking water needs. The derived model enables to simulate an enormous amount of water needs predictions, use them to compute the confidence interval with the desired significance level, and based on the resulting prediction determine the probability that the predicted drinking water needs will be achieved.

The water predictions, especially the short-term ones, may influence the drinking water production management, and in doing so help to reduce water loss in supply systems. Reducing losses and thereby making the distribution of drinking water far more effective is the next step in the development of supply systems. The loss of water is a significant indicator when comparing the individual management facilities. The owners of infrastructure – mostly town representatives, water management facilities owners and of course water consumers as well – require information on the supply system and thus also on the amount of water loss. The water loss represents a substantial part of the so-called unaccounted-for water and there are several ways how to objectively assess this. The selection of an appropriate method and specific procedures is a

prerequisite for obtaining objective data that gives an accurate picture of the condition of the supply system, which is essential not only when making comparison between the organizations, regions or countries, but also for being able to commence remedial actions in the distribution of drinking water.

Souhrn

Informace o očekávaném vývoji v zásobování a distribuci pitné vody v České republice je velmi důležitá vzhledem k plánování rozvoje jednotlivých regionů, ke způsobu navrhování a rozhodování o distribučních sítích, jejich rozsahu a velikosti a samozřejmě také k plánování zdrojů pitné vody a k cenové politice při prodeji pitné vody a pro samotné hospodaření vodárenských organizací.

Pitná voda je upravená surová voda, která je vyčerpatelnou surovinou. Vhodné surové vody pro výrobu pitné vody bude díky znečištění vodních zdrojů v budoucnu nedostatek a proto bude nutno s vodou šetřit. Pro hospodaření s vodou je důležité správně vyhodnotit potřeby pitné vody v budoucnu a racionalizovat distribuci vyrobené pitné vody se zaměřením na minimalizaci jejích ztrát.

Pro objektivní stanovení potřeb vody v budoucnu byla vyvinuta nová metoda řešení předpovědi potřeb pitné vody. Metoda je založena jednak na modelování krátkodobých potřeb pitné vody na základě syntetických řad potřeb vody odvozených z minulých spotřeb vody pro řešenou oblast. Další část modelu řeší dlouhodobou předpověď potřeb pitné vody, která je řešena na základě stanovení trendu potřeb pitné vody. Trend ve vývoji potřeb vody je možno řešit buď klasickým způsobem pomocí matematické statistiky, jako prodloužení trendu ve spotřebách vody z minulosti, nebo je možno řešit vývoj potřeby vody na základě dalších parametrů, jako je například vývoj počtu obyvatel - pro některá území má vývoj potřeb vody a vývoj počtu obyvatel velmi těsnou korelaci. Kombinací modelu krátkodobé předpovědi potřeb pitné vody a dlouhodobé předpovědi je odvozen komplexní model potřeb pitné vody. Odvozený model umožňuje namodelování velkého množství předpovědí potřeb vody, ze kterých je možno stanovit také konfidenční interval se stanovenou hladinou významnosti a na základě takto provedené předpovědi je možno stanovit pravděpodobnost, s jakou bude předpovězená potřeba pitné dosažena.

Vliv předpovědi vody, zejména krátkodobých, má vliv na řízení výroby pitné vody a tím může také pozitivně ovlivnit snižování ztrát vody v distribučních sítích. Ve snižování ztrát a tím v zefektivnění provozu distribuce vyrobené pitné vody je možno předpokládat další cestu v rozvoji distribučních sítí. Ztráty vody jsou významným ukazatelem pro porovnávání jednotlivých provozních organizací. Vlastníci infrastruktury - většinou zástupci města, vlastníci vodárenských provozů a samozřejmě i odběratelé vody vyžadují informace o distribuční síti a tím i o velikosti ztrát vody. Ztráty vody představují významný podíl tzv. vody nefakturované a je několik metod pro jejich objektivní hodnocení. Výběr vhodné metody a jednotlivých postupů je základem pro získání objektivních dat, vypovídajících o stavu sítě a to jak pro porovnání mezi organizacemi, regiony, nebo zeměmi, tak pro zahájení nápravných prací v distribuci pitné vody.

Klíčová slova: potřeba vody, model potřeby vody, ztráty vody, diagnostika distribučních systémů, tlakové pásmo.

Keywords: water demand, model of water demand, water losses, diagnostics of water distribution systems, pressure zone.

České vysoké učení technické v Praze

Název: Očekávaný vývoj v zásobování a distribuci pitné vody v ČR

Autor: Ing. Iva Čiháková, CSc.

Počet stran: 27

Náklad: 150 výtisků

© Iva Čiháková, 2004

ISBN

Obsah:

SUMMARY	2
SOUHRN	4
KLÍČOVÁ SLOVA	5
KEY WORDS	5
OBSAH	6
1. Hlavní aspekty hospodaření s pitnou vodou	7
2. Spotřeba vody v České republice, ve vybraných městech a zemích	7
3. Vývoj spotřeby vody	10
4. Predikce potřeb vody	12
5. Odvození modelu pro předpovědi denních potřeb vody.....	14
6. Dlouhodobé předpovědi potřeb vody	20
7. Závěr	21
Literatura.....	25
Životopis.....	26

1. Hlavní aspekty hospodaření s pitnou vodou

Hospodaření s vodou chápeme jako hospodaření s vyčerpatelnou surovinou, která je zároveň limitující surovinou pro lidský život, rozvoj kultur, hospodářství a zemědělství. Nedostatek vody je příčinou mnoha konfliktů, nevyhovující kvalita způsobuje strádání a nemoci obyvatelstva i všech dalších živých organismů. Ve 2. polovině minulého století, po ukončení 2. světové války byl zaznamenán významný růst obyvatelstva a jeho nároků na zásobování vodou. Roste standard vybavení bytů, zvyšují se výkonnosti ekonomik, roste spotřeba vody jak pro obyvatelstvo, tak pro průmysl a zemědělství. Po 2. světové válce jsou vedoucími prestižními organizacemi, zabývajícími se zásobováním a úpravou vody na světové úrovni IWSA (International Water Supply Association) a AWWA (American Water Works Association). Mezi hlavní směry, které mezinárodní organizace podporovaly je jednak politika dostupnosti pitné vody – dekáda IWSA v 70. letech 20. století s názvem „Pitná voda všem“ a následně pak období s ekonomickým aspektem „Pitná voda je zboží“. V 80. a 90. letech je patrné snižování spotřeby vody ve vyspělých zemích jako důsledek ekonomických a ekologických tlaků. Po r. 1990 dochází k výraznému snižování spotřeby vody v zemích střední a východní Evropy, včetně Československa. Toto snížení je způsobeno řadou faktorů, z nichž nejdůležitějším je změna cenové politiky, výrazné zvyšování ceny vodného a stočného, které v té době bylo na hodnotě 0,80 Kčs za m³. Dalším faktorem je celková změna hospodářství, která přispěla k uzavření řady provozů mimo jiné náročných na spotřebu vody, změna technologií u modernizovaných a nově otevíraných provozů. Postupem doby jsou srovnány ceny pro malo a velkoobchodní. Ekonomické, politické a ekologické faktory přispěly ke snížení až na současných cca 55-70% potřeb z konce 80. let. Tato velmi pozitivní skutečnost však představuje nové nároky na hospodaření s pitnou vodou, na její dopravu a sledování kvality vody v distribuční síti.

2. Spotřeba vody v České republice, ve vybraných městech a zemích

Vybraná terminologie:

VD voda dodaná

VR voda k realizaci, **VR = VD + voda převzatá - voda předaná**

VF voda fakturovaná

VNF voda nefakturovaná, **VNF = VR - VF**

VP vlastní potřeba, spotřeba na objektech, proplachy potrubí, údržba vodojemů

OVNF ostatní voda nefakturovaná, většinou pro požární účely

MP minimální průtok, většinou v noci

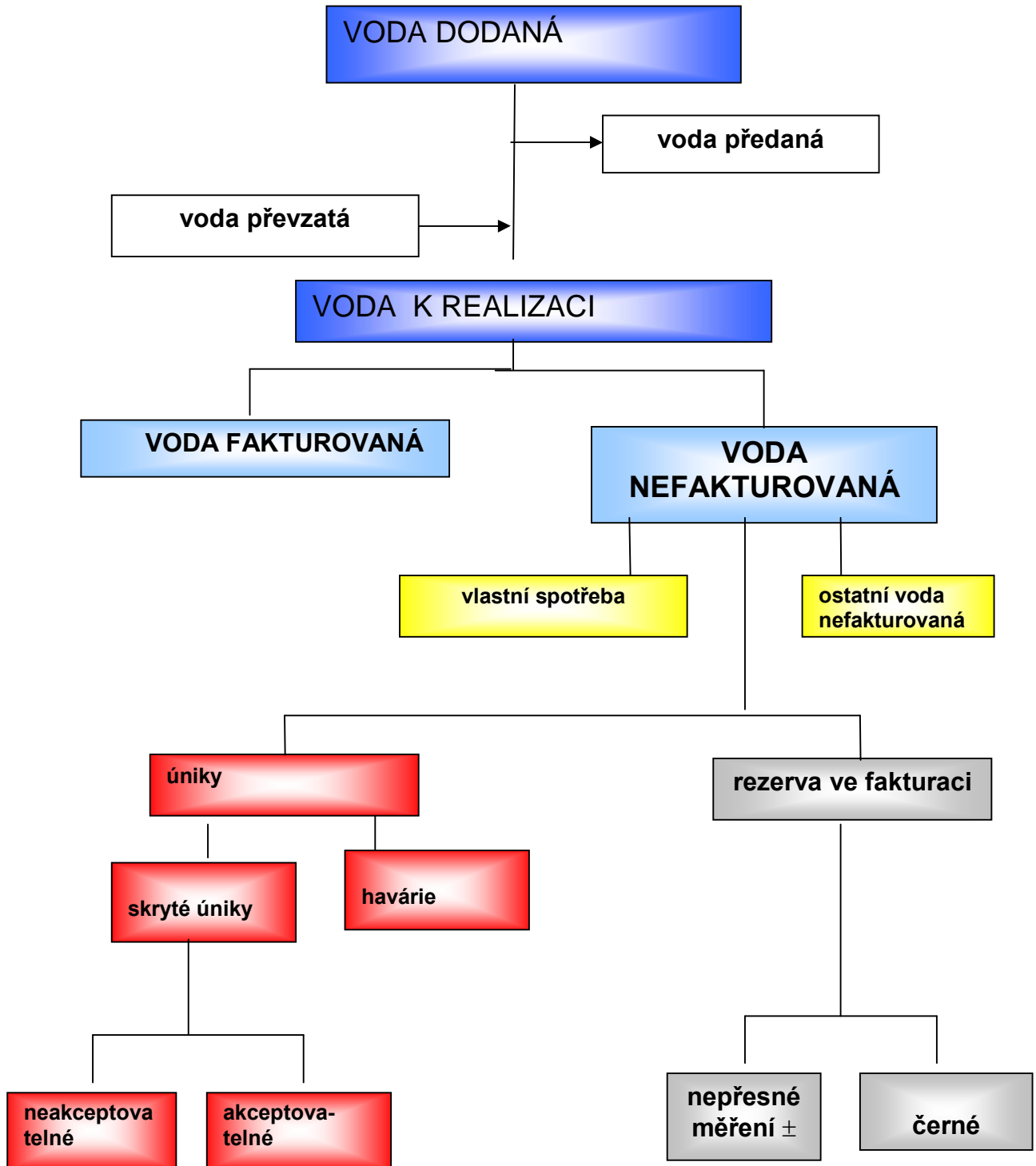
- Ú** úniky z potrubí (při haváriích, skryté úniky)
- SkÚ** skryté úniky (největší část VNF), mají dlouhodobý charakter, výrazně ovlivňují účinnost zásobování, nemají bezprostřední vliv na distribuci, většinou se časem projeví jako havárie, dělíme je na **SkÚp a SkÚn**
- SkÚp** skryté úniky přípustné (objem úniků, u kterého je neekonomické vyhledávání a opravy; závisí na geologických podmínkách, členitosti terénu, vodohospodářské bilanci a ceně vyráběné vody, počtu armatur)
- SkÚn** skryté úniky nepřipustné (úniky, které jsou svým objemem nad hranicí přijatelného množství, jejich odstraňováním se intenzivně provozovatelé zabývají)
- Hav** objem vody unikající při haváriích (tj. do doby uzavření – závisí na rychlosti uzavření, výrazně závisí na údržbě, preventivních kontrolách, obnově sítě)
- ReF** rezerva ve fakturaci; nevhodná měřidla, (nepřesná měřidla – většinou předimenzovaná; nutné periodické cejchování, výměny při změně objemu odběru, černé odběry tj. neplacené – krádeže z hydrantů, přes požární obtoky, nelegální přípojky, neplatiči)
- JÚ** jednotkový únik vody nefakturované, (VNF vztažená na jednotku přepočtené délky sítě na profil DN 150 za jednotku času)
- Přepočtená délka sítě**
skutečná délka sítě různých profilů je přepočtená na omočený obvod DN 150
- Voda zdarma**
vlastní potřeba, spotřeba na objektech, proplachy potrubí, údržba vodojemů plus ostatní voda nefakturovaná (pro požární účely aj.)

$$\begin{aligned} \text{VNF} &= \text{VR} - \text{VF} \\ \text{VNF} &= \text{VP} + \text{OVNF} + (\text{SkÚ} + \text{Hav}) + \text{ReF} \\ \text{SkÚ} + \text{Hav} &= \text{Ú} \end{aligned}$$

Havárie (počet /km*rok)

jedná se o „tekoucí vodu z potrubí“, ne o nutnou výměnu armatur, statistiku havárií vhodné rozdělit na havárie tekoucí a netekoucí a na skryté úniky

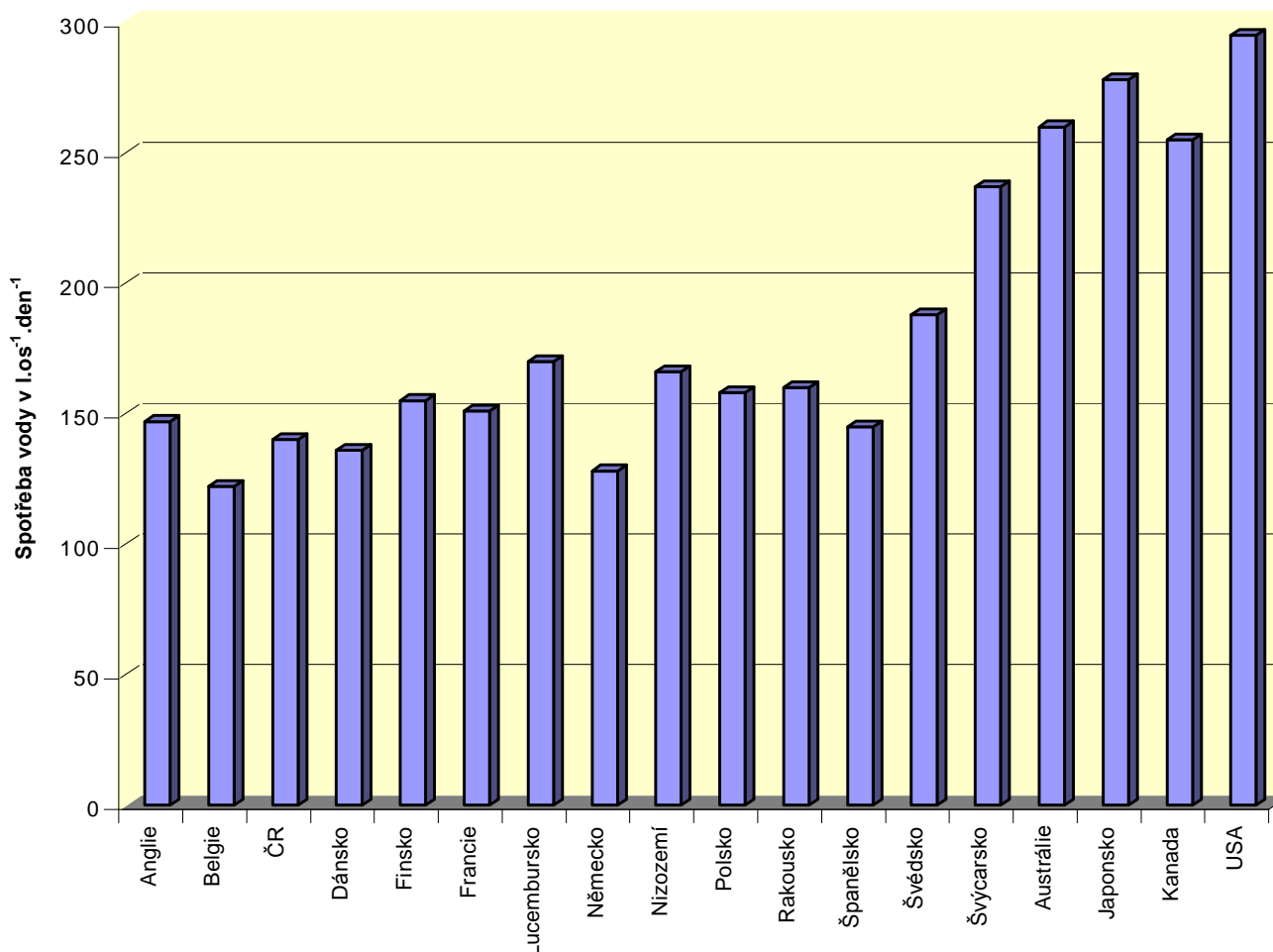
Stručné schéma dodávky pitné vody od jejího jímání a úpravy (voda vyrobená) až po její prodej odběrateli /event. její možný únik/ je znázorněno na obr.1.



Obr.1. Schéma bilance vyrobené pitné vody

Spotřeba vody v domácnosti představuje významný podíl tzv. vody fakturované. Její velikost v ČR po r. 1990 významně klesla. Česká republika je v současné době v této spotřebě srovnatelná v vyspělými státy Evropy. Její srovnání je uvedeno na obr. 2.

Specifické spotřeby vody v domácnostech (2002)



Obr.2. Spotřeba vody v domácnosti v l*os⁻¹*den⁻¹

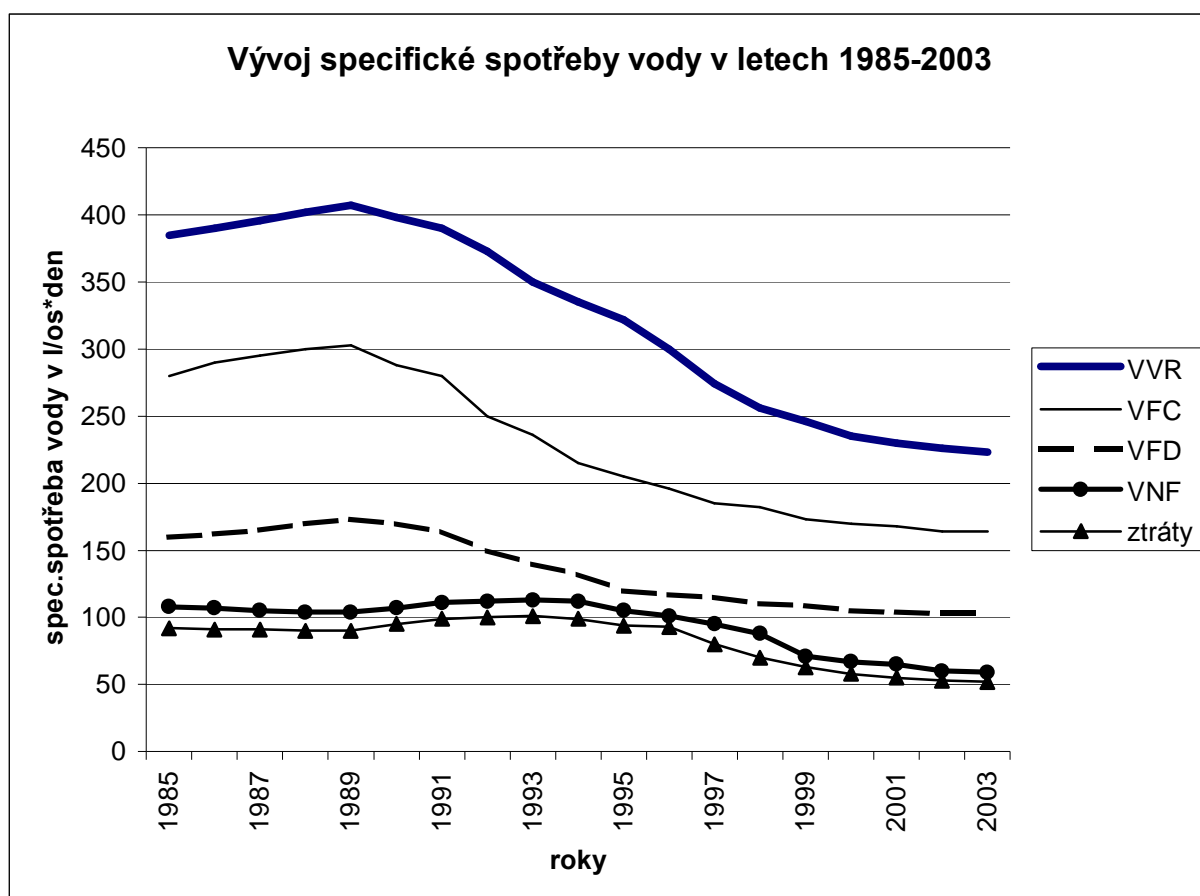
3. Vývoj spotřeby vody

Vývoj spotřeby vody je podrobně analyzován a pro prognózu budoucího stavu je aktuálně sledován trend spotřeby vody a trend jednotlivých faktorů. Jedná se o vývoj specifických potřeb vody pro obyvatelstvo, průmysl, zemědělství a ostatní (především služby). Dále je sledován vývoj počtu obyvatelstva a to včetně migrace a pohybu obyvatel mezi jednotlivými regiony a obcemi, vývoj standardu vybavení bytů, ekonomická situace obyvatelstva, vývoj na trhu výtokových armatur (spořicí výtokové armatury), jejich rozšíření na trhu, apod. Významný je vývoj velikosti vody nefakturované a velikosti ztrát.

Spotřeba vody v ČR v letech 1985-2003 je na obr.3.

Dalším významným faktorem je vývoj ceny vody. V České republice je cena vody státem regulovaná. Provozní organizace navrhuje cenu vody Ministerstvu financí ČR a pouze s jeho souhlasem ji může měnit. Jedná se především o zvyšování ceny vody, která zahrnuje nezbytné náklady na její dodávku a přiměřený zisk provozní organizace. V současné době se do ceny vody nepromítají odpisy vodárenských zařízení.

V lokalitách, kde dochází k dramatickému poklesu spotřeby vody až pod tzv. hygienické minimum, kde je voda z veřejného vodovodu užívána jen příležitostně, provozovatel většinou využije možnosti stanovení dvousložkové ceny vody. Jedná se např. o oblasti s možností alternativních zdrojů pitné a užitkové vody (vlastní studny). Celkový náklad je pak rozdělen do stálé platby, odvozené podle velikosti vodoměru a do platby za odebrané množství vody. Provozovatel pak nemusí významně zvyšovat cenu při poklesu spotřeby vody. V cenové oblasti jsou ve světě známé modely pro mírnou pobídku odběru i pro šetření s vodou v oblastech s napjatou vodohospodářskou bilancí.



Obr.3. Vývoj specifické potřeby vody v ČR v letech 1985- 2003

4. Predikce potřeb vody

Při sestavování matematického modelu denních potřeb vody byly sledovány vnitřní vazby a vlastnosti reálné řady minulých spotřeb vody s podmínkou, že tyto vazby musí být zachovány i v modelované řadě. Byla stanovena podmínka zachování shody co největšího počtu základních statistických charakteristik modelovaných potřeb vody s charakteristikami reálné – výchozí řady. Jedná se o následující charakteristiky:

- aritmetický průměr – charakteristika polohy,
- centrální moment druhého řádu – rozptyl $\sigma(x^2)$, jako charakteristika rozptylu jednotlivých hodnot x_i kolem aritmetického průměru, nebo případně směrodatná odchylka jako odmocnina z rozptylu $\sigma(x)$,
- centrální moment třetího řádu – charakteristika šikmosti, která udává stupeň a smysl odchylky souboru potřeb vody do symetrického rozdělení hodnot kolem aritmetického průměru,
- musí zůstat zachovány vazby mezi potřebami v jednotlivých dnech. Tento požadavek vznikl na základě pozorování a z rozboru charakteru reálných naměřených řad spotřeb vody, ve kterých se ukázaly vazby mezi spotřebami v jednotlivých dnech. Tyto vazby vznikly ze stereotypu vykonávaných činností lidmi, kteří si zvykli provádět pravidelně určité činnosti v jednotlivých dnech v týdnu. Tyto vazby mezi jednotlivými dny jsou charakterizovány autokorelační funkcí. Zachování této charakteristiky pozorované v reálných řadách i v modelované umělé řadě byla věnována značná pozornost.

Další okrajovou podmínkou pro sestavení matematického modelu byla obecnost modelu. Odvozený model je použitelný pro různé lokality, ve kterých je potřeba provádět predikce potřeb vody.

Základními daty pro předpovídání potřeb vody v budoucnu jsou údaje o uskutečněných spotřebách v minulosti a samozřejmě také plánovaný rozvoj regionu pro který se předpovědi tvoří. Vlastní příprava reálné řady spočívá jednak v normování denních potřeb vody, jednak v odstranění nestacionarity. Normování se provádí převedením denních potřeb vody na procentuální potřeby vody. Odstraní se tak trend ve vývoji spotřeb vody. Zajímavé jsou hodnoty autokorelace, které udávají těsnost vztahu mezi základní řadou denních potřeb vody a posunutou řadou o n dní. Velmi silný vztah je mezi posunutými řadami o 7 dní, což představuje porovnání řad posunutých o týden. Vyjadřuje to určité opakování spotřeb v odpovídajících si dnech v týdnu a ukazuje to na možnost využití pro predikci průměrných hodnot z odpovídajících si dní z jednotlivých zpracovávaných let.

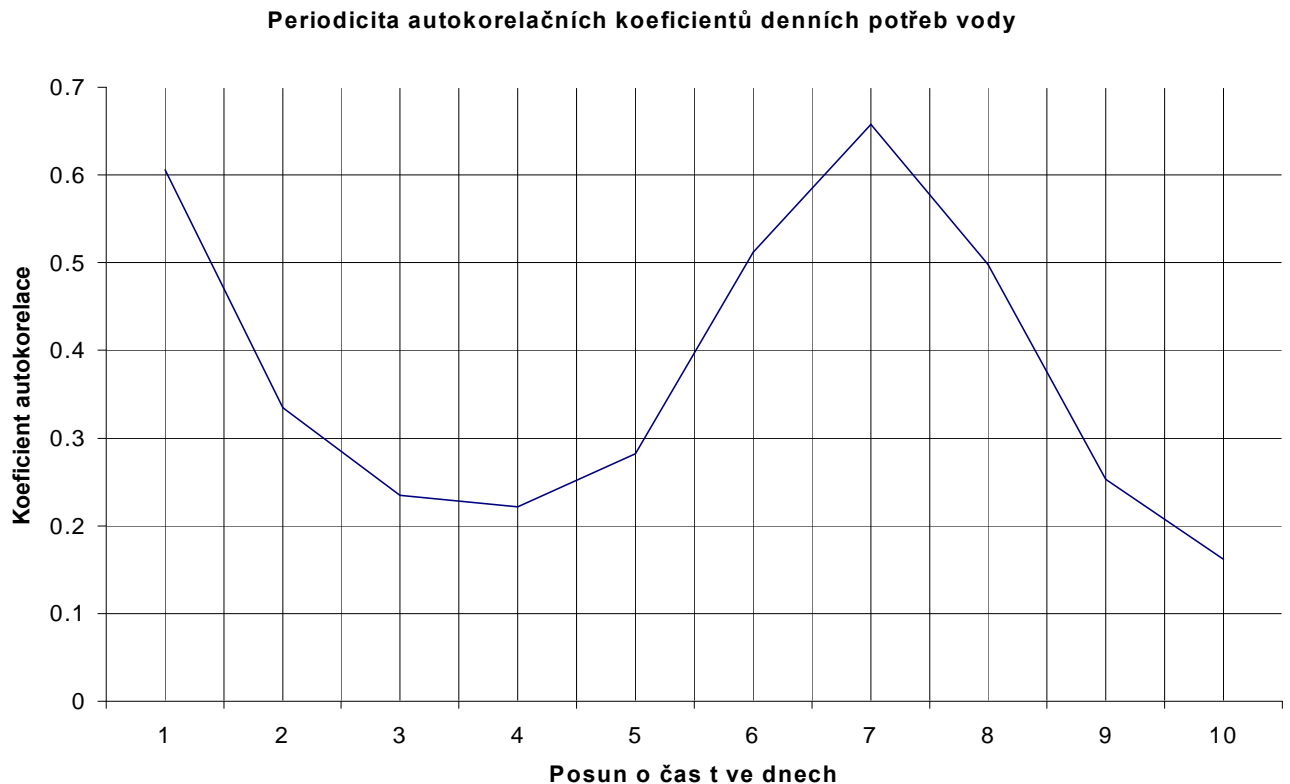
Výpočet autokorelace je proveden dle následujícího vztahu:

$$r_t = \frac{\sum_{i=1}^{m-t} (x_i - \bar{x}_i)(x_{i+t} - \bar{x}_{i+t})}{\sigma_i \sigma_{i+t} (m-t-1)}$$

kde	n	délka výběrového úseku řady
	x_i	posloupnost procentuálních denních potřeb vody od x_1 do x_n
	x_{i+t}	posloupnost denních potřeb vody od x_{1+t} do x_{n+t}
	t	časový úsek autokorelační funkce od $t=0$ do $t=m-n$
	\bar{x}_i, \bar{x}_{i+t}	střední hodnoty procentuálních denních potřeb vody v posloupnosti od x_1 do x_n a v posloupnosti x_{1+t} do x_{n+t}
	σ_i, σ_{i+t}	směrodatné odchylky příslušných posloupností procentuálních potřeb vody

Při sestavování modelu pro krátkodobé předpovědi potřeb vody byly sledovány statistické charakteristiky, které přísluší řadě průměrných procentuálních potřeb vody za jednotlivé týdny a statistické charakteristiky řady procentuálních denních potřeb vody v jednotlivých dnech v týdnu. Současně jsou sledovány autokorelační koeficienty, které umožňují postihnout vnitřní strukturu souboru procentuálních denních potřeb vody. Model by měl zachovat periodicitu autokorelačních koeficientů.

Průběh periodicity autokorelačních koeficientů je patrný z následujícího obrázku:



Obr. 4. Periodicita autokorelační funkce

Predikované hodnoty denních potřeb vody musí mít obdobný průběh periodicity autokorelačních koeficientů, protože i modelované hodnoty by měly mít obdobnou vnitřní strukturu, jako mají naměřené spotřeby vody, které tvoří základ pro modelování předpovědí. Reálné hodnoty spotřeb vody mohou mít různé rozdělení četností. Z dosud zpracovávaných souborů, se nejčastěji vyskytlo rozdělení četností podle logaritmisko-normálního rozdělení četností, nebo podle rozdělení Pearson III. Tato rozdělení četností vyhovují ve většině případů pro různé oblasti v ČR, mimo jiné i proto, že je možno použít rozdělení podle Pearson III i pro zápornou šikmost. Pro modelování potřeb vody je nutno transformovat reálnou řadu spotřeb vody na řadu, která bude mít normální rozdělení četností.

Transformace řady na řadu s normálním rozdělením četností patří mezi významné úkoly přípravy vstupních dat pro modelování potřeb vody.

Tab.1. Příklad statistických charakteristik hodnot směrodatné proměnné z_i , která vznikla transformací procentuálních spotřeb vody v pražské vodovodní síti. Je zpracovaná 15ti letá řada z let 1969-1983.

	průměr	koeficient variance	směrodatná odchylka	šikmost
pondělí	0.0548	18.4661	1.0124	0.0705
úterý	0.0161	61.8689	0.9938	0.0024
středa	0.0241	41.5824	1.0008	0.1114
čtvrtek	0.0361	27.2721	0.9843	0.0974
Pátek	0.0558	17.7743	0.9914	0.1313
sobota	0.0540	18.1844	0.9813	0.1417
neděle	0.0533	18.9642	1.0105	0.2111

Viditelná je téměř nulová hodnota průměru a jednotková směrodatná odchylka.

5. Odvození vlastního modelu pro předpovědi denních potřeb vody - krátkodobé předpovědi

Vlastní odvození modelu pro předpověď denních potřeb vody sleduje následující cíle:

- předpovědi hodnot denních potřeb vody bude možno použít pro navrhování distribučních sítí, pro jejich provoz, pro výrobu vody a pro řešení akumulace pitné vody

- kvalitní předpovědi denních potřeb vody umožní dispečerské řízení systémů zásobování vodou tak, aby byly minimalizovány ztráty vody při dopravě ke spotřebitelům

Pro modelování predikce potřeb vody byla použita metoda lineární regrese analýzy doplněná o zkušenosti s Markovovými procesy. Markovův proces je možno vyjádřit jako přechod sledované soustavy v čase například $t-1$ na stav soustavy v čase t . Jestliže závisí stav soustavy v čase t pouze na stavu soustavy v čase $t-1$, jedná se o jednoduchý Markovův proces. Závisí-li stav soustavy v čase t na dalších stavech soustavy, například v čase $t-1$ až $t-k$, tedy na počtu k předchozích stavů, jedná se o Markovův proces k -tého řádu. Při modelování potřeb vody závisí predikované potřeby vody v čase t na předchozích spotřebách vody v časech $t-1$ až $t-k$.

Při sledování statistických charakteristik denních spotřeb vody, vyplynulo, že existuje vztah mezi středními týdenními spotřebami vody v závislosti na ročních obdobích. Dále je možno sledovat poměrně silný vztah mezi denními spotřebami vody během jednoho týdne.

Na základě těchto úvah bylo vytvořen základní způsob pro modelování denních potřeb vody:

1. Pomocí lineárního regresního modelu s řádem Markovova řetězce k , se namodelují týdenní potřeby vody.

$$z_t = b_1 z_{t-1} + b_2 z_{t-2} + \dots + b_k z_{t-k} + e_t$$

kde	$(k+1) \leq t \leq T$
	k řád Markovova řetězce
	T počet členů reálné řady průměrných týdenních spotřeb vody
	z_t modelovaná průměrná hodnota týdenní potřeby vody
	$z_{t-1}, z_{t-2} \dots$ hodnoty průměrných týdenních potřeb vody
	$b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$ hodnoty regresních koeficientů
	e_t náhodná odchylka

Výpočet koeficientů regrese je proveden na základě podmínky, aby náhodná odchylka e_t byla minimální. Obvykle lze použít řadu publikovaných metod, známé jsou například metoda maximální věrohodnosti, metoda minimalizace absolutní odchylky, nejpoužívanější metodou je metoda nejmenších čtverců. Tato metoda je použita i v tomto případě. Na základě parciálních derivací $\sum e_t^2$ podle jednotlivých koeficientů regrese se získají tzv. normální rovnice, ze kterých lze vyjádřit koeficienty regrese:

Normální rovnice:

$$\sum_{t=k+1}^T z_{t-1} z_t = b_1 \sum_{t=k+1}^T z_{t-1} z_{t-1} + b_2 \sum_{t=k+1}^T z_{t-1} z_{t-2} + \dots + b_k \sum_{t=k+1}^T z_{t-1} z_{t-k}$$

·
·
·

$$\sum_{t=k+1}^T z_{t-k} z_t = b_1 \sum_{t=k+1}^T z_{t-k} z_{t-1} + b_2 \sum_{t=k+1}^T z_{t-k} z_{t-2} + \dots + b_k \sum_{t=k+1}^T z_{t-k} z_{t-k}$$

2. V dalším kroku se vymodelují denní potřeby vody. Při modelování se použijí korelační vztahy mezi jednotlivými denními potřebami vody z výchozí řady denních spotřeb vody. Namodelované denní potřeby vody zachycují proměnlivost potřeb vody během týdne. Denní potřeby vody se vymodelují pomocí lineární regrese s řádem Markovova řetězce 1.
3. Namodelované denní potřeby vody se upraví tak, aby měly průměrnou hodnotu týdenní potřeby vody shodnou s namodelovanými týdenními potřebami. Jejich modelování je popsáno pod bodem 1..

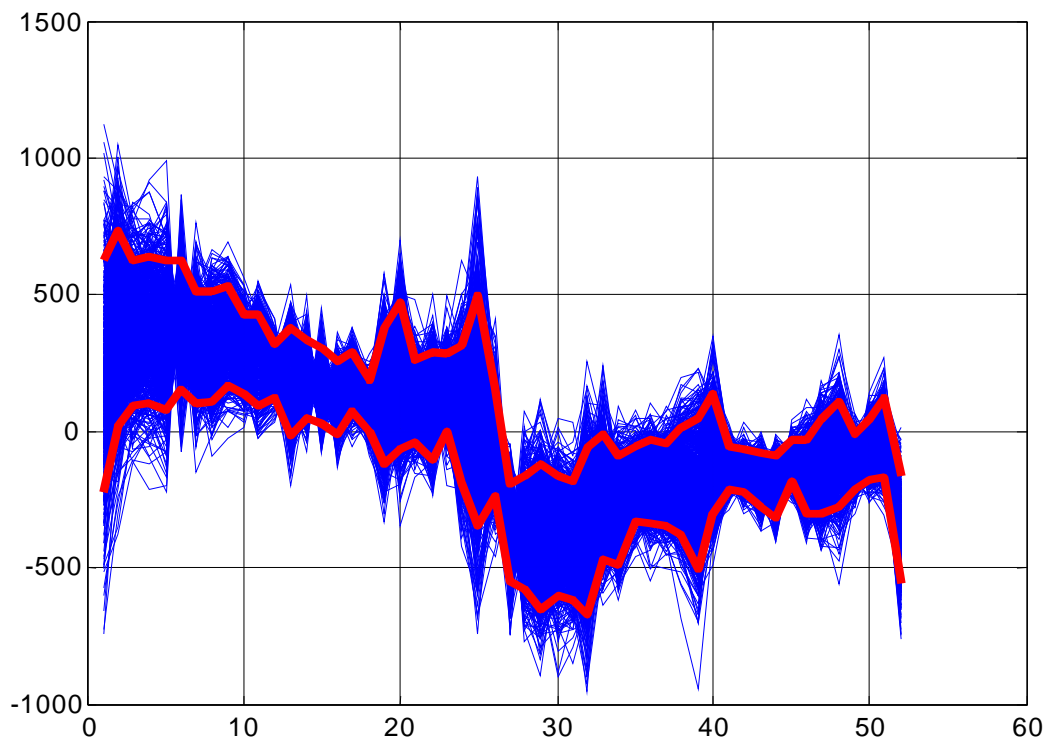
Úprava namodelovaných denních potřeb vody popsána pod bodem 3., se provede pomocí algoritmu třídění výměnou se zpětným chodem. Úprava se provádí následujícím postupem:

- Z namodelovaných hodnot denních potřeb vody se spočítají průměrné týdenní potřeby vody.
- Získané průměrné týdenní hodnoty potřeb vody se seřadí podle velikosti a zapamatuje se pořadí týdenních potřeb vody v původní řadě.
- Podle velikosti se seřadí také namodelované týdenní potřeby vody.
- Z obou řad seřazených podle velikosti se sestaví uspořádané dvojice týdenních potřeb vody. Vždy se přiřadí k jedné hodnotě namodelované týdenní potřeby vody, týdenní potřeba zjištěná z namodelovaných hodnot denních potřeb vody.
- Hodnoty denních potřeb vody, které přísluší vždy ke své týdenní potřebě vody - vznikla jako jejich průměr se opraví tak, aby se rovnal týdenní průměr modelované týdenní hodnotě v prvním kroku modelování potřeb vody. Průměr z denních potřeb vody

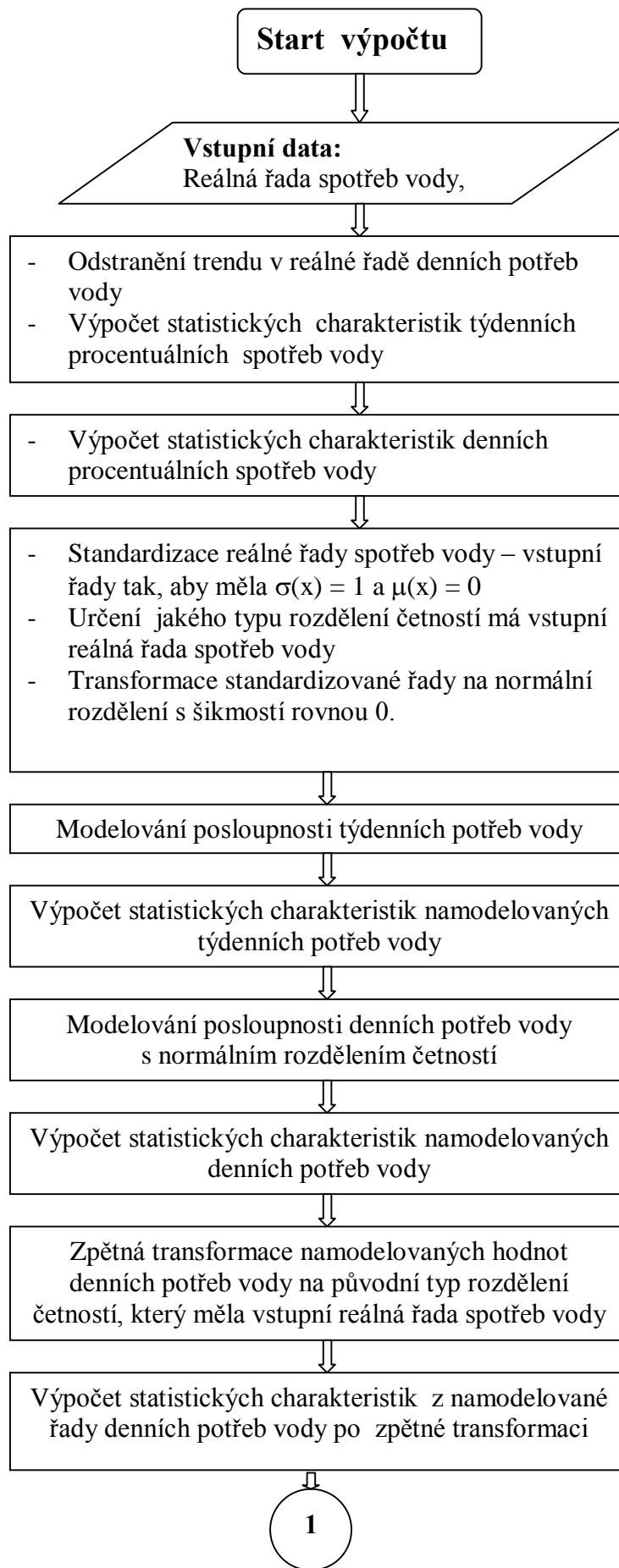
v příslušném týdnu se musí rovnat druhé hodnotě uspořádané dvojice - modelované týdenní potřebě vody.

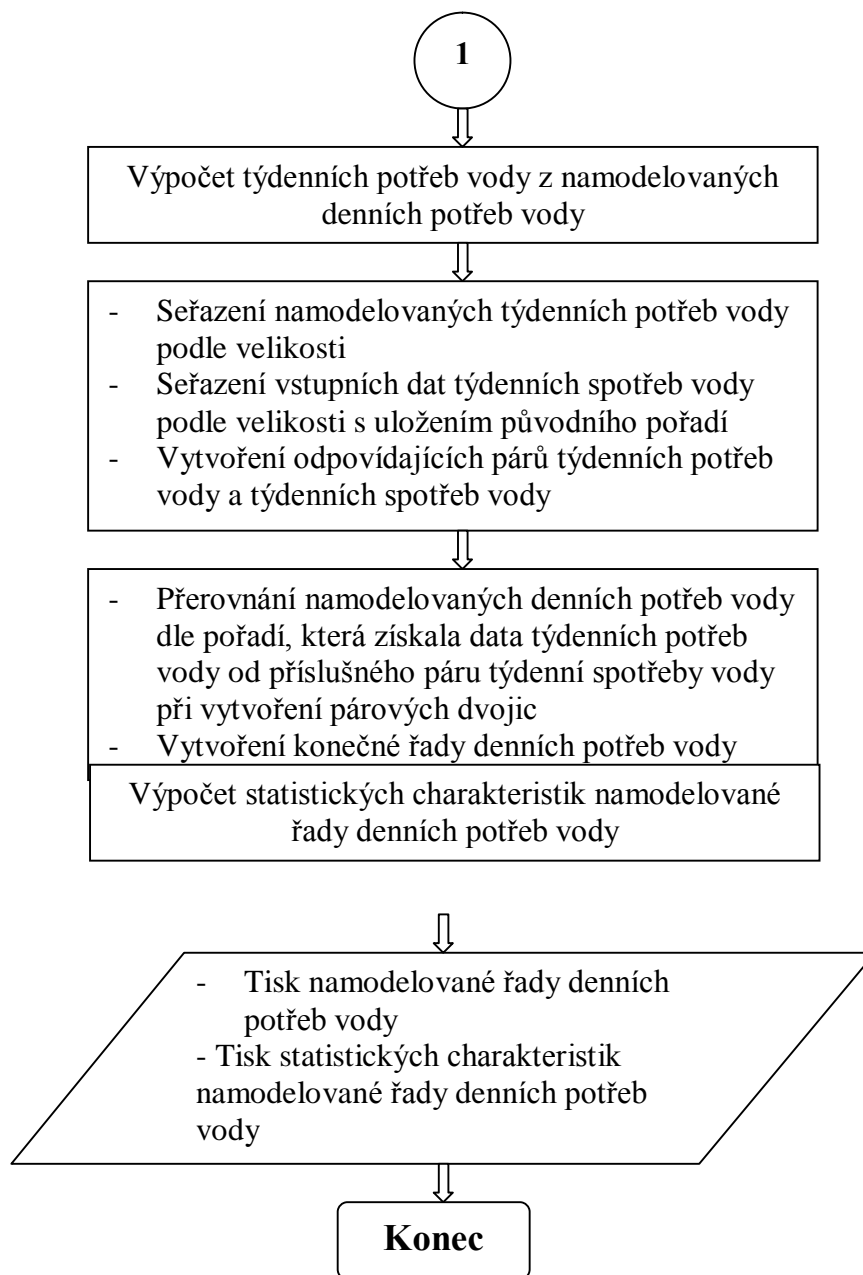
- Na závěr se opět seřadí denní potřeby vody do původního pořadí dle modelovaných hodnot průměrných týdenních potřeb vody. Použije se zapamatované pořadí z prvního kroku, t.j. pořadí před seřazením řady průměrných týdenních potřeb vody podle velikosti.

Na obr. 5 je představen možný výstup z predikce týdenních potřeb vody. Pro názornost je na obr.6 ukázán jednoduchý vývojový diagram výpočtu predikce denních potřeb vody.



Obr. 5. Výstup z výpočtu predikce týdenních potřeb vody s vyznačením konfidenčního intervalu pro hladinu významnosti 10%.





Obr. 6 Vývojový diagram modelování potřeb pitné vody

6. Dlouhodobé předpovědi potřeb pitné vody

Dlouhodobé předpovědi potřeb pitné vody se provádí na delší období, na 3 až 30 let. Dlouhodobou předpovědí se stanovují průměrné roční potřeby vody a na tyto průměrné roční potřeby vody se následně implementují krátkodobé potřeby vody modelované způsobem, který je popsán v předchozí kapitole. Tyto předpovědi sledují trendy ve vývoji potřeb vody. K jejich predikci se obvykle používají metody regresní analýzy. Obvykle se používají lineární modely, pouze v ojedinělých případech je nutno použít model nelineární.

Vždy je vhodné použít několik různých modelů a o výběru je možné rozhodnout na základě stanovení intervalu spolehlivosti, nebo indexu determinace, jako míry těsnosti závislosti.

Regresní model řeší vztah mezi hodnotami spotřeb vody, které se uskutečnily v minulosti a na základě těchto vztahů je potom možno vyjádřit i hodnoty, které lze očekávat v budoucnosti.

Základní rovnici popisující regresní model je možno vyjádřit následovně:

$$y_i = \eta_i + \varepsilon_i$$

Uvedenou rovnicí je vyjádřena závislá proměnná y_i jako součet podmíněné střední hodnoty η_i závislé proměnné y_i při kombinaci nezávisle proměnných x_{1i} , x_{2i} , ..., x_{ki} a náhodné složky ε_i . Podmíněnou střední hodnotu η_i , vyjádřenou jako funkci závisle proměnných je potom možno nazvat regresní funkcí. Podle typu regresní funkce je možno rozlišit různé typy regresních modelů:

- lineární modely, které mají regresní funkci ve tvaru:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 f_1 + \beta_2 f_2 + \dots + \beta_r f_r$$

kde f_1, f_2, \dots, f_r představují libovolné funkce závislé proměnných x_i

Mají-li modely regresní funkci ve tvaru:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r$$

kde funkce f_1 až f_r představují přímo závislé proměnné x_1 až x_r , je možno hovořit o lineárním modelech a to jak z hlediska parametrů, tak i z hlediska závisle proměnných.

U lineárních regresních modelů je pro dlouhodobé předpovědi potřeb vody možno použít následujících regresních funkcí:

- regresní funkce ve tvaru regresní přímky $\eta = \beta_0 + \beta_1 x$

- regresní funkce ve tvaru regresní roviny $\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$
- regresní funkce ve tvaru hyperboly $\eta = \beta_0 + \beta_1 1/x$
- regresní funkce ve tvaru logaritmické funkce $\eta = \beta_0 + \beta_1 \log(x)$
- regresní funkce ve tvaru paraboly $\eta = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$

Je-li nutné použít nelineární regresní modely pro dlouhodobou předpověď potřeby vody, používají se s výhodou takové modely, které se mohou transformací převést na modely lineární. Jsou to obvykle následující regresní funkce:

- regresní mocninná funkce $\eta = \alpha x^\beta$
- regresní exponenciální funkce $\eta = \alpha \beta^x$

Tyto funkce se převádí na lineární obvykle jejich logaritmováním a následně se s nimi zachází jako s lineárními.

U lineárního modelu je nutno splnit následující podmínky:

- a) Hodnoty nezávislých proměnných se volí, x_1, x_2, \dots, x_k nejsou náhodné veličiny
- b) Regresní funkce je lineární funkcí nezávisle proměnných.
- c) Neexistuje lineární funkční vztah mezi nezávisle proměnnými.
- d) Rozdělení náhodných složek ε_i je normální se střední hodnotou 0 a se stejným rozptylem σ^2 .
- e) Náhodné složky jsou nekorelované

Při volbě typu regresní funkce při modelování dlouhodobých předpovědí potřeb vody (průměrných ročních potřeb) je nutno především respektovat logické a věcné souvislosti. Důležité je věnovat pozornost výchozí řadě průměrných ročních spotřeb vody, ze které se vychází při stanovování předpovědí. Tato řada nesmí být narušena nějakou vnější událostí, jako je například vliv dlouhodobých havárií, změna cenové politiky, přesídlení obyvatel a pod.. O tyto vlivy je nutno reálnou řadu nejprve opravit a teprve následně z ní stanovovat dlouhodobé předpovědi.

Při výběru typu regresní funkce je vhodné vynést bodový diagram. Z něj je možno vyčíst tvar a vybrat typ regresní funkce. Přichází-li v úvahu více typů regresní funkce, je vhodné postupovat podle následujících kritérií:

- a) reziduální rozptyl s^2_R , který je definován následujícím vztahem:

$$s^2_R = \frac{S_R}{n - p}$$

kde S_R reziduální součet čtverců
 $p=k+1$ počet regresních parametrů

Reziduální rozptyl je odhadem a nahrazuje neznámou hodnotu rozptylu σ^2 .

- b) Je nutno posoudit míru statistické závislosti, nejlépe koeficientem nebo indexem determinace. Za vhodnější je možno považovat regresní funkce, které dosahují vyšších hodnot těchto koeficientů. Při vyhodnocování je nutno vzít v úvahu, že u regresní funkce s větším počtem parametrů vychází koeficienty vyšší, ale model nabývá na složitosti.
- c) Vhodnost zvolené regresní funkce je možno posoudit dle průběhu reziduí
 $e_i = y_i - Y_i$. Zobrazení těchto reziduí v závislosti na hodnotách jednotlivých regresorů – regresních koeficientů, umožňují ověřit vhodnost tvaru regresní funkce a splnění předpokladu konstantnosti rozptylu a rezidua zobrazeném v závislosti na pořadí umožňují odhalit porušení předpokladu nezávislosti a rezidua zobrazená v závislosti na hodnotách v modelu dosud nezařazených proměnných pomohou zjistit, zda je vhodné zařadit příslušnou proměnnou do modelu.
- d) Použitý regresní model je vhodné posoudit pomocí t-testů a F-testu

Na základě výše provedených zkoumání je možné vybrat vhodný regresní model a na základě něho, lze úspěšně predikovat průměrné roční potřeby vody. Pro dlouhodobé předpovědi potřeb vody není nutno sestavovat žádný speciální model, ale je možno použít komerční programové systémy, jako vhodné se ukázalo použití programu STATGRAPHICS, pod operačním systémem WINDOWS, výrobek Statistical Graphics Corporation, 2115 East Jefferson Street Rockville, MD 20852-4999 USA.

7. Závěr

Očekávaný vývoj v zásobování a distribuci pitné vody v České republice bude veden snahou o snižování ztrát v distribučních sítích a o racionalizaci jejich provozu. To je možno pokládat za základní podmínku pro zajištění dobrého hospodaření s pitnou vodou a je to také důležitý ukazatel pro hospodaření jednotlivých vodárenských společností. Pro snížení ztrát v distribuční síti je důležité následující:

- Důležitý je stav distribuční sítě, ten je vhodné vyhodnocovat několikrát za rok (min. čtvrtletně, pololetně). Roční hodnocení je podřízeno způsobu odečítání a zpracování fakturace.
- Kriteria, jejichž podkladem jsou výsledky fakturace nelze používat pro aktuální, průběžné sledování úniků vody. Pro historická data, která jsou vhodná pro roční bilance, jsou ale nezbytná.
- Činnosti směřující ke snižování ztrát jsou hodně časově náročné. Je třeba pracovat v jednotlivých tlakových pásmech, mít k dispozici dostatek podkladů a provádět následná vyhodnocení. Pro stanovení harmonogramu prací je čtvrtletní vyhodnocení vyhovující.
- Pro možnost okamžitého zásahu je vhodné souběžné sledování minimálních průtoků, měsíčních dodávek a dodávek v reálném čase.
- Velmi vhodné je sledování jednotkových úniků.
- Databáze vyhodnocování počtu havárií, oprav a dalších zásahů na síti – počet poruch je nezbytná jako podpůrné stanovisko pro přistoupení k plošné výměně a rekonstrukci řadu, včetně jeho hydraulického přepočítání.
- Volba vhodného materiálu pro rekonstrukci vodovodní sítě je pro snižování ztrát v oblasti prevence dalším poruchám a únikům. V porovnání celkových nákladů na pokládku řadu je čistá cena potrubí cca 25-45% z ceny díla. Úspory způsobené volbou méně kvalitního materiálu se do budoucna prodraží.
- Volba materiálu s sebou nese i způsob provádění stavby. Zde je třeba říci, že každý materiál i podloží má podrobně propracované postupy, které musí být dodržovány. Nestabilní podloží zde není pouze podloží poddolované, jak jsme zvyklí, ale i např. různé nabobtnávané horniny a zeminy, které mění svůj objem v průběhu roku vlivem např.

meteorologických faktorů. Zde se problému vyhýbáme „hojným“ nahrazením okolní zeminy vhodnými podsypy a obsypy, které jsou vítány i při následných např. bezvýkopových zásazích do sítě.

- Velkou péči si zaslouží provádění i opravy na tzv. „objektech“ sítě, u míst s opěrnými bloky, v místech změn materiálu potrubí, u armatur, které dosahují na povrch terénu a jsou zatíženy, např. dopravou atp. Při revizích je vhodné přednostně kontrolovat tato místa.
- Koroze se podílí na devastaci kovových materiálů uložených v zemině ve velké míře a umožnila nástup materiálů plastových. Výběr nekovových materiálů a materiálů kovových s max. možnou ochranou je nutný v místech bludných elektrických proudů. Zde jsou užívány i prvky aktivní protikorozi ochrany. V centrech měst, podél elektrických tratí, v blízkosti elektrických měření aj. jsou známá místa, kde i kvalitní kovový materiál „mizí“ velmi rychle.
- Permanentní sledování tlakových poměrů na síti umožní odhalit skryté úniky a omezit tak ztráty vody, které se většinou projeví až za dlouhou dobu.
- Kamerové průzkumy kanalizace umožňují aktuální sledování možných výronů vody do kanalizačního potrubí. V podstatné většině případů se jedná o vodu pitnou z porušeného vodovodu.
- Manipulace s tlakem v distribuční síti – umělé snižování energetického horizontu s cílem komfortního zásobování vodou při minimálních únicích z poruch a netěsností. Vhodné je využití modelů pro předpovídání potřeb vody.

Literatura

1. Alegre, H., Baptista, J.,M., Coelho, S., T., Praca, P.: Performance Indicators for Network Rehabilitation, CARE-W Dresden, Germany (2002)
2. Anděl, J.: Statistická analýza časových řad, SNTL, 1976
3. Beneš, J.: Statistická dynamika regulačních obvodů, SNTL, 1961
4. Buchtík, J.: Bilance potřeby vody hl.m. Prahy – HDP, 1968
5. Buchtík, J.: Generelní řešení zásobování Prahy vodou k r. 1976, HDP Praha
6. Egermayer, F., Boháč, M.: Statistika pro techniky, SNTL, 1984
7. Farley, M., Trow, S.: Lossee in Water Distribution Networks, 2003
8. Chalupa, M.: Měření množství vody a jejich ztrát, Celostátní konference, Mariánské lázně, 1979
9. Koníř, M.: Ztráty vody ve vodárenských distribučních systémech, Odborný seminář Sovak, VUT, Brno 2003
10. Kubeš, M.: Metodika porovnávání ztrát vody, SOVAK, roč.12,č.7-8/2003
11. Lambert, A.,O., Brown, T.,G., Takizava,M., Weiner,D.: A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems , 2000
12. Mikšovský, J., Michalová, M.: metodika stanovení výhledových potřeb pitné vody v koncepčních a rozvojových úkolech, VÚV Praha, 1982
13. Nacházel, K., Starý, M., Zezulák, J. a kol. : využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství, ACADEMIA, 2004
14. Plecháč, V.: Dlouhodobé plánování ve vodním hospodářství, MLVH a SZN Praha 1978
15. Reisenauer, R.: Metody matematické statistiky, SNTL, Praha 1965
16. Tuhovčák, L., Vrbková, P.: Vykazování ztrát vody, Voda Zlín 2003
17. Votruba, L., Nacházel, K.: Základy teorie stochastických procesů a jejich aplikace ve vodním hospodářství, ČVUT, 1972

Životopis

Ing. Iva Čiháková, CSc

Narozena 5.3.1951 v Praze, národnost česká

Vzdělání a kvalifikace:

ČVUT, Fakulta stavební, obor vodní stavby a vodní hospodářství, diplom ing. - 1975

Kandidát technických věd - 1986

IHE Delft, Nizozemí, Low Cost Water Supply - 1992

JASPEX, UK Praha -1989-1993

Soudní znalec v oboru stavebnictví, stavby vodní a v oboru Ekonomika, ceny a odhady nemovitostí - 1994

Autorizovaný inženýr pro stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství - 1995

Zaměstnání:

1975 -1976 - Povodí Vltavy Praha, závod Dolní Vltava

1980 - dosud - ČVUT v Praze, Stavební fakulta, odborný asistent

Jazykové znalosti: angličtina - státní zkouška, ruština, francouzština

Odborné zaměření:

Zdravotní inženýrství, vodárenství, problematika zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Přednášení vodárenství, výuka v angličtině Water Supply. Spolupráce s řadou organizací z praxe – Hydroprojekt CZ, PVK, a.s. a další. Odborné zaměření na problematiku distribučních vodárenských sítí, potřeby vody a kvalitu pitné vody. Řešitel a spoluřešitel řady výzkumných úkolů a grantů.

Členství v odborných organizacích:

IWSA (International Water Supply Association) - zakládající člen a člen výboru

IWA (International Water Association) - člen republikového výboru

Česká komora stavebních inženýrů a techniků

Komora soudních znalců

Člen normalizační komise Českého normalizačního institutu

Zahraniční praxe:

IHE Delft, Nizozemí - 1992

Publikace

Autor 59 publikací a odborných prací. Autor 642 znaleckých posudků.

Poslední činnost v oboru:

Od r. 1992 přednáším základní předmět zdravotního inženýrství - vodárenství. Kromě toho přednáším předmět Základy projektování a vedu komplexní projekty Vodárenství. Vedu volitelné předměty Vodárenské soustavy, provoz vodovodů, hydrogeologie a způsoby jímání vody, vodovody pro malé obce a ochrana vodních zdrojů.

Vedu diplomové projekty, dosud 34 obhájených diplomových prací. Vedu doktorandy v rámci doktorského studia v oboru zdravotní inženýrství, v současné době vedu 5 doktorandů, jeden již úspěšně ukončil doktorské studium obhájením doktorské práce, další dva doktorandi již úspěšně absolvovali státní zkoušku.

Příklad důležitých prací z poslední doby:

- Vývoj potřeby vody, Hydroprojekt Praha, a.s., 2000
- Aktuální potřeby vodního hospodářství obcí, ISBN 80-227-1793-2, r. 2002
- Výzkum efektu úpravy vody na její jakost při prodlužujícím se zdržení v rozvodné síti, kap. 3 Cementace potrubí, QD 1003 č. 580111441, r. 2002
- Kritéria pro hodnocení ztrát vody a rozbor nefakturovaného množství vody, Zlín, ISBN 80-238-8326-87, r. 2002
- Vliv povodní na funkci vodovodní sítě, 103/99/1470, r. 2002
- Snižování ztrát vody, Voda Zlín, ISBN 80-239-0072-2, r. 2003

Rodinné poměry

Jsem vdaná, manžel pracuje na Fakultě stavební, ČVUT v Praze. Mám dvě dcery, starší Hana, nyní Štěpánková dokončila magisterské studium v r. 1998 na Vysoké škole ekonomické v Praze, nyní pracuje na Imperial College London, mladší dcera Dana ukončila magisterské studium na Vysoké škole ekonomické v r. 2000 a v r. 2001 ukončila magisterské studium na Právnické fakultě, University Karlovy. V současné době pracuje v advokátní kanceláři Kocián Šolc Balaščík.