

## **Dynamika podzemní vody v hydrogeologickém profilu Lednice – Podivín od roku 1961 až po současnost**

Dynamics of underground Water in profile Lednice – Podivín from 1961 to the  
present

*Hana Hornová<sup>1</sup>*

*Český hydrometeorologický ústav<sup>1</sup>*

### **Abstrakt**

Jednou z nejrozsáhlejších akcí, která vyvolala realizaci průzkumných prací, mezi něž náleží i vybudování sond pro pozorování hladiny podzemní vody, byla plánovaná výstavba odersko-dunajského průplavu. Sondy vytvářejí profily, které byly označovány jako hydrogeologické. První pozorování byla započata v letech 1933 až 1934, další se zaváděla postupně od roku 1940. V dnešní době slouží tyto objekty ke všeobecnému poznání režimu podzemních vod v údolních profilech těchto řek. Hydrogeologický profil Lednice se nachází mezi Podivínem a Lednicí v nivě řek Ladenská Strouha, Trkmanka a Dyje. Pro srovnání pohybu podzemní vody byly vybrány dvě sondy, umístěné nejdále a nejbližší od vodočtu řeky Dyje. Sondy byly vyhodnoceny pro období 1961-2000 a dále byly vyhodnoceny jejich trendy.

**Klíčová slova:** úzkoprofilová sonda, hladina podzemní vody, povrchový tok, lineární trend, prognóza

### **Abstract**

One of the largest events that triggered the implementation of exploration work, which include the construction of probes for monitoring groundwater levels, the planned construction of the Oder-Danube Canal. Probes create profiles that were labeled as hydrogeological. The first observations were started between 1933 and 1934, others are introduced gradually since 1940. Today these objects are used for general knowledge of groundwater regime in the valley profiles of these rivers. Hydrogeological profile Lednice is located between Podivín and Lednice in floodplain rivers Ladenská Strouha, Trkmanka and Thaya. For comparison the movements of ground water were selected two probes that are nearest and farthest from the river Thaya. The probes were evaluated data for the period 1961-2000 and reviewed the resulting trends.

**Keywords:** slim-profile probe, the level of groundwater, surface flow, linear trend, prognosis

## Úvod

Jednou z nejrozsáhlejších akcí, která vyvolala realizaci průzkumných prací, mezi něž náleží i vybudování sond pro pozorování hladiny podzemní vody, byla plánovaná výstavba odersko-dunajského průplavu. Sondy vytvářejí profily, které byly označovány jako hydrogeologické. Byly situovány většinou napříč trasy průplavu a zároveň napříč podélné osy údolí nebo rovinných moravských úvalů. Jsou umístěny v povodích Odry, Bečvy, Dyje a Moravy. První pozorování byla započata v letech 1933 až 1934, další se zaváděla postupně od roku 1940. V dnešní době slouží tyto objekty ke všeobecnému poznání režimu podzemních vod v údolních profilech těchto řek. Pozorování se provádělo pásmem G10 od horního okraje výpažnice, takzvaného obměrného bodu. Měření bylo prováděno vždy ve středu a celková doba měření v jednotlivých hydrogeologických profilech trvala až 3 hodiny. Sondy byly vypaženy ocelovými bezešvými výpažnicemi o světlosti 55 mm, které jsou ve své dolní části perforované až do výše 1,0 m nade dnem výpažnice. Od roku 2013 se část hydrogeologických profilů zrušila v rámci úsporných opatření, zbývající profily, které byly zachovány, pak byly osazeny automatickými záznamovými čidly, které měří s hodinovým krokem.

Z geologického hlediska jsou HP profily v oblasti čtvrtohorních usazenin, které v místech profilů tvoří převážně lehčí hlíny, písčité hlíny a slabě hlinité a sypké písky. V údolí řeky Moravy a Dyje se v současné době pozoruje 12 hydrogeologických profilů, které mají dohromady 159 vrtů. Pozorovací síť se dělí na takzvanou primární a sekundární. Primární síť je tvořena objekty s označením VB, které jsou úplné, širokoprofilové o průměru ocelové výpažnice 297 mm. Vrty sekundární sítě (označené KB) jsou neúplné. Právě vrty sekundární sítě mají však nejdelší pozorovací řady a z hlediska hodnocení režimu podzemních vod a navázání na povrchovou vodu mají vysokou vypovídací schopnost.

Úkolem příspěvku je zhodnocení vlivů vodohospodářských úprav řeky Dyje na režim podzemních vod ve dvou vzájemně odlišných obdobích. Jednak období 1961 – 1972 pouze z hlediska úpravy Dyje, tedy bez vlivů nádrží u Nových Mlýnů a období 1974 – 2000, tj. po výstavbě novomlýnských nádrží a úpravě Dyje v úseku Břeclav – Nové Mlýny. Úprava řeky Dyje v úseku Břeclav – Nové Mlýny byla zahájena v únoru 1968 a ukončena v prosinci 1973. Cílem úpravy bylo zabránit rozlivu v údolní nivě, ke kterým docházelo až třikrát ročně. Bylo uvažováno i s následnou výstavbou novomlýnských nádrží, které svým retenčním účinkem sníží povodně. Dolní zdrž Nové Mlýny se začala napouštět v roce 1988. Dalším úkolem příspěvku je ukázat navázání na povrchový tok a vyhodnotit vzájemný vztah mezi jednotlivými sondami a tokem v celé šíři profilu.

## Materiál a metody

Hydropedologický profil Lednice se nachází mezi Podivínem a Lednicí v nivě řek Ladenská Strouha, Trkmanka a Dyje. Původní profil měl 26 sond, postupnými změnami má nyní pouze 11 sond (Obrázek 1), které sledují pohyb hladin podzemních vod od roku 1948. Profil celkem čtyřikrát kříží toky protékající touto oblastí a kopíruje u pěti sond koryto Staré Dyje, které vytváří součást Lednického areálu. Hydropedologický profil má délku 4,064 km a průměrnou nadmořskou výšku 162,23 m n.m.

Vrty Lednického profilu patří do hydrogeologického rajónu 1652, který zahrnuje kvartérní fluviální uložení řeky Dyje. Hladina podzemní vody je zde volná. Uložení údolní nivy náleží struktuře průlomových podzemních vod s charakteristickou hydrogeologickou spojitostí s povrchovým tokem. Z geologického hlediska má profil následující skladbu. V oblasti převládají těžší jílnaté hlíny v nadmořských výškách 159,80 m n.m. až 161,45 m n.m.. Nejhlubší vrstvu v sondách tvoří zejména sypké písky slabě hlinité v nadmořské výšce od 156,00 m n.m. do 159,20 m n.m.. Nad nimi prochází vrstva hlinitých, jílnatohlinitých a jílnatých písků až do výšky 160,50 m n.m. Nejsvrchnější vrstvu tvoří lehčí hlíny (160,00 m n.m. – 162,60 m n.m.). Vrstva písčitojílových, písčitých a jílnatohlinitých zemín se v oblasti hydropedologického profilu nenachází vůbec, jíly a jílovité zeminy ojediněle.

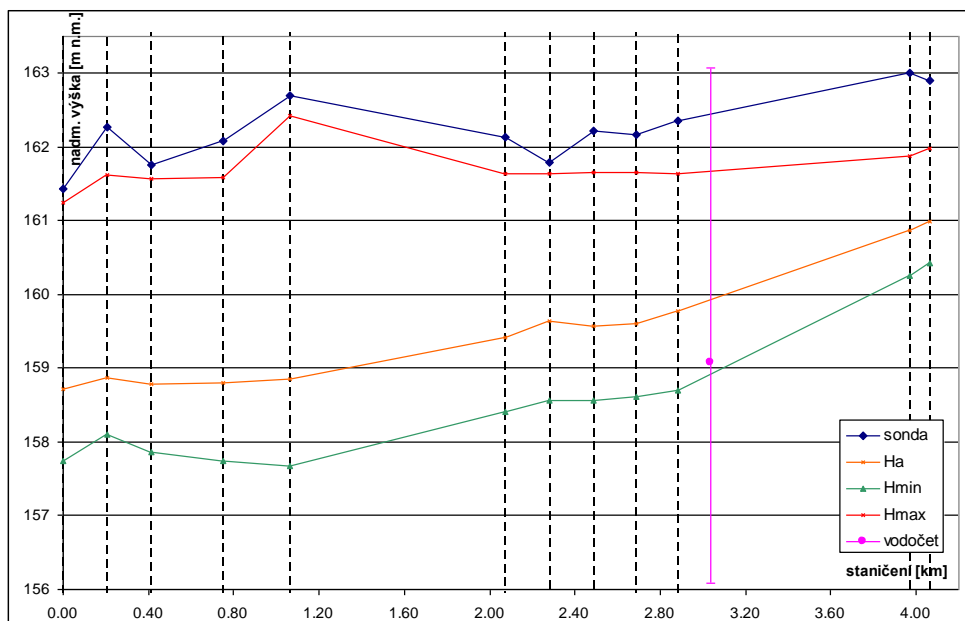
Obrázek 1 Charakteristiky jednotlivých sond HP profilu

č.	sonda	pozorováno		vzdálenost	staničení	nadmořská výška	<b>Ha</b>	<b>Hmin</b>	<b>Hmax</b>
		od	do						
1	<b>KB0653</b>	II. 1948	stále		0	161.43	158.72	157.74	161.25
2	<b>KB0654</b>	II. 1948	stále	0.204	0.204	162.27	158.87	158.10	161.62
3	<b>KB0655</b>	II. 1948	stále	0.207	0.411	161.75	158.79	157.86	161.57
4	<b>KB0657</b>	II. 1948	stále	0.338	0.749	162.08	158.80	157.75	161.58
5	<b>KB0660</b>	II. 1948	stále	0.313	1.062	162.69	158.85	157.67	162.42
10	<b>KB0666</b>	II. 1948	stále	0.200	2.076	162.13	159.42	158.41	161.64
11	<b>KB0667</b>	II. 1948	stále	0.202	2.278	161.79	159.64	158.56	161.64
13	<b>KB0669</b>	II. 1948	stále	0.148	2.486	162.22	159.56	158.57	161.65
14	<b>KB0670</b>	II. 1948	stále	0.201	2.687	162.17	159.61	158.62	161.65
15	<b>KB0671</b>	II. 1948	stále	0.197	2.884	162.35	159.78	158.70	161.64
23	<b>KB0681</b>	II. 1948	stále	0.093	4.064	162.91	160.99	160.42	161.98

Na obrázku 2 je příčný profil sond s vyznačeným vodočtem na řece Dyji. Nadmořská výška sond je určena od odměrného bodu. Od něj se provádí také výpočty. Na obrázku 2 je také

zobrazen průběh průměrné, maximální a minimální výšky hladiny podzemní vody za období 1960-1990 pro všechny sondy profilu Lednice, které odpovídají hodnotám na obrázku 1. Na následujících obrázcích 3 a 4 je znázorněno rozmístění sond v terénu. Sondy KB0653 – KB0660 jsou umístěny podél hlavní silnice z Podivína do Lednice. Sondy KB0667 - KB0671 se nachází na trase k Janovu hradu, takzvané cestě Lichtenštejnského Dědictví a lemují rameno Staré Dyje. Sondy KB0680 a KB0681 uzavírají celý profil a nachází se na začátku Lednice u Zámeckého rybníka.

Obrázek 2 Příčný profil hydrogeologického profilu Lednice – Podivín

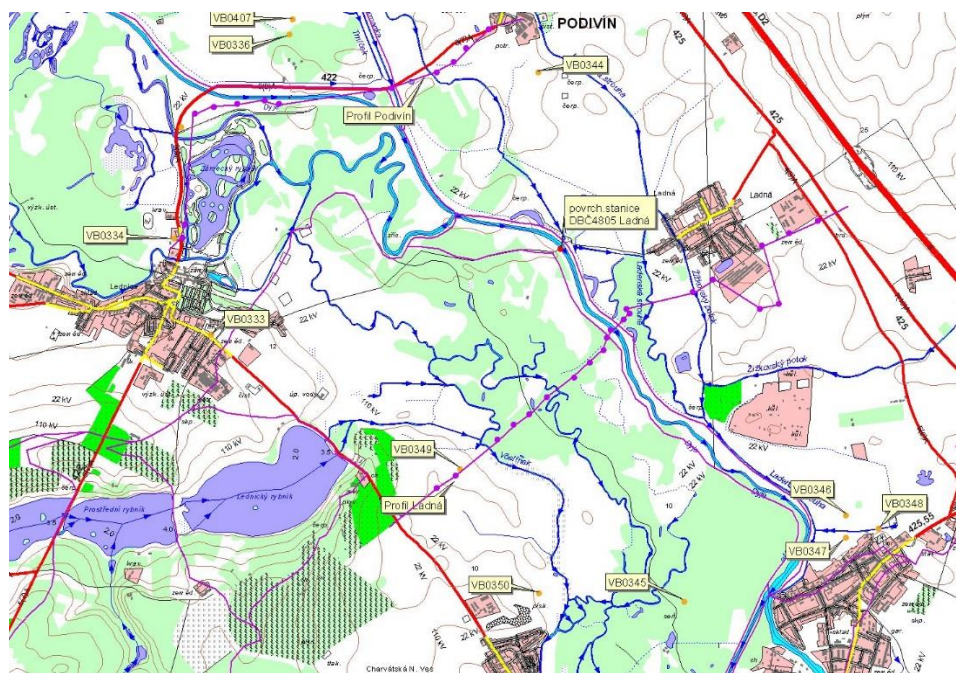


Obrázek 3 Hydrogeologický profil Lednice – Podivín



V okolí hydrogeologického profilu se také nacházejí samostatné vrty primární sítě podzemních vod, jejichž data doplňují informace o pohybu podzemní vody v této lokalitě lužních lesů. Jedná se o vrty VB0333 Lednice, VB0334 Lednice, VB0344 Podivín a VB0407 Podivínská obora. Celou oblast dokresluje hydrogeologický profil Ladná, který je umístěn o několik kilometrů níže a vrty primární sítě VB0345 – VB0350 (viz obrázek 4).

Obrázek 4 Vrty primární a sekundární sítě v oblasti Lednicko – Valtického areálu



Pro srovnání pohybu podzemní vody byly vybrány dvě sondy. Sonda KB0653, která je nejdále od vodočtu Dyje (3,037 km) a sonda KB0671, která je k vodočtu Dyje neblíže (cca 150 m). Sonda KB0653 je však ovlivněna také tokem Trkmanka, který je v její blízkosti. Pro období 1961-2000 byly počítány charakteristiky jako průměrná nadmořská výška hladiny podzemní vody za období, maximum a minimum. Dále byl sledován a vyhodnocen roční chod jednotlivých vrtů a také celkový trend v daném čtyřicetiletém období. Pro představu jsou některé z grafů uvedeny níže.

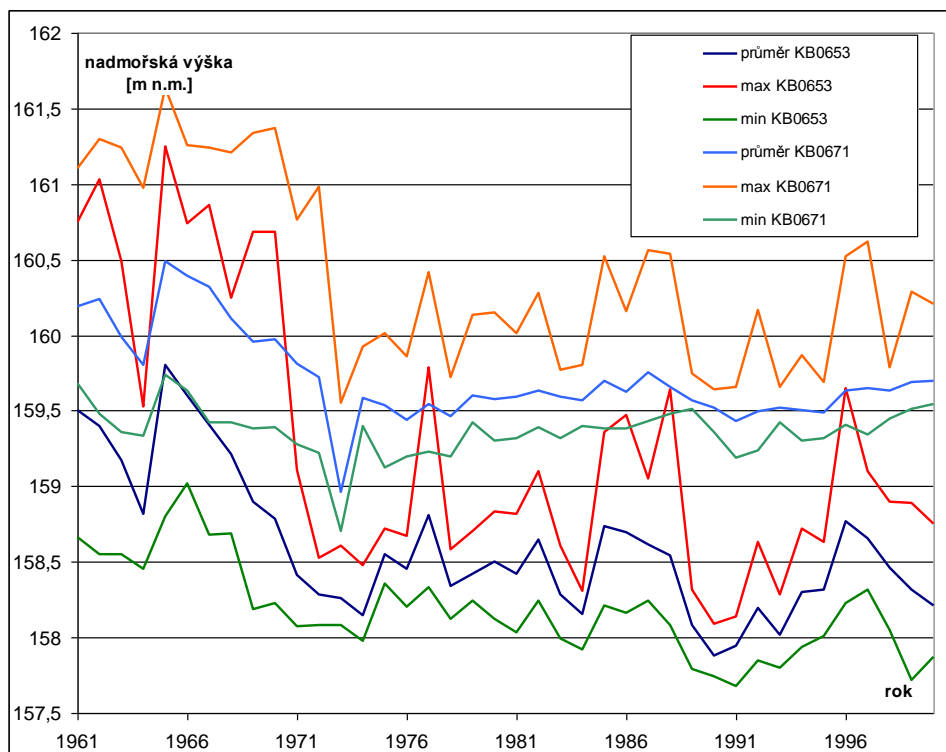
Sonda KB0653 má odměrný bod v nadmořské výšce 161,43 m n.m, který je umístěn 0,50 m nad terénem. Průměrná nadmořská výška hladiny se pohybuje v rozmezí 157,88 m n.m. – 159,80 m n.m., čili hladina podzemní vody se pohybuje v rozmezí 1,63 m – 3,55 m od odměrného bodu, celkový průměr za období 1961 -2000 je 158,60 m n.m., což je hladina podzemní vody v hloubce 2,83 m. Minimální stav hladiny podzemní vody byl zaznamenán v roce 1991 a sice na hodnotě 157,68 m n.m. (3,75 m) a maximální v roce 1965 hodnotou 161,25 m n.m. (0,18 m). Sonda KB0671 má odměrný bod v nadmořské výšce 162,35 m n.m. který je umístěn 0,45 m nad terénem.. Průměrná nadmořská výška hladiny se pohybuje v rozmezí 158,96 m n.m. – 160,49 m n.m., čili hladina podzemní vody se pohybuje v rozmezí



1,86 m – 3,39 m od odměrného bodu, celkový průměr za období 1961 -2000 je 159,72 m n.m., což je hladina podzemní vody v hloubce 2,63 m. Minimální stav hladiny podzemní vody byl zaznamenán v roce 1973 a sice na hodnotě 158,70 m n.m. (3,65 m) a maximální v roce 1965 hodnotou 161,64 m n.m. (0,71 m).

Srovnáním sond KB0653 a KB0671 v ročních průměrných charakteristikách je možné zachytit pohyb podzemní vody na vzdálenosti cca 3,0 km. Je patrné (Obrázek 5), že průměrné maximální hodnoty si na jednotlivých vrtech odpovídají a vyskytují se současně, stejně jako minimální hodnoty. Roční průměry si také víceméně odpovídají, s drobnými výkyvy, které mohou být způsobeny lokálními změnami. Lokální maxima a minima se vyskytují periodicky přibližně po deseti letech. Pro každou ze sond byl vyhodnocen roční chod, který má až na drobné výkyvy v některých letech dobře patrný průběh s maximy v jarních měsících (březen až duben) a minima v letních měsících (srpen až září).

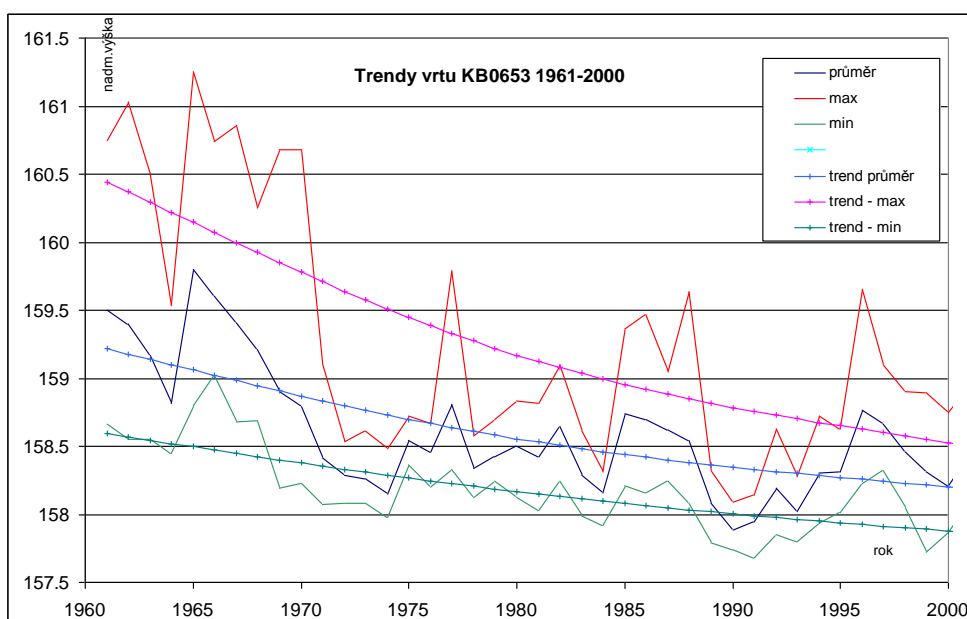
Obrázek 5 Srovnání vrtů KB0653 a KB0671 z hlediska dlouhodobých charakteristik



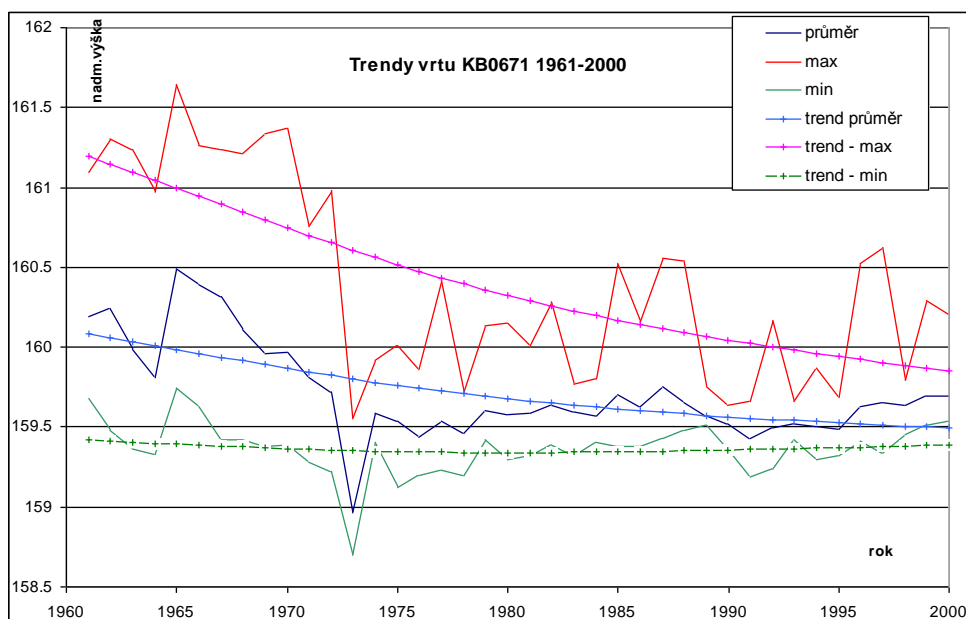
Trend představuje dlouhodobou systematickou změnu v časové řadě. Projevuje se jako dlouhodobý vzestup či pokles hladiny podzemní vody. Trendy vrtů KB0653 a KB0671 mají obdobnou poklesovou tendenci v období 1961-2000. Jedná se o vrty, které se nacházejí pod nádržemi Nové Mlýny a jsou tedy ovlivněné. Z grafů (Obrázek 6, 7) je zřejmé, že v roce 1973 došlo k výraznému poklesu hladiny podzemních vod. Tento pokles byl způsoben zahloubením koryta řeky Dyje o cca 50-60 cm. Pokles hladin podzemních vod se projevil na všech vrtech v okolí řeky. Jak je vidět, čím blíže je vrt umístěn k řece je pokles hladiny podzemní vody nižší, v případě vrtu KB0671 je to v průměrných ročních hodnotách cca 1,5 m. Se

vzdálenějším vrtem od toku řeky Dyje hladina podzemní vody zaklesává hlouběji, vrt KB0653 zaklesl v roce 1973 o 2,2 m. Ve vývoji dynamiky podzemní vody by tato skutečnost ovlivnění vodními díly měla být zohledněna a dále řešena. Nejdříve je třeba provést homogenizace řad. Již u nich se ukázalo, že dlouhodobé měření je třeba rozdělit na období před rokem 1973 a po roce 1973. Pokud je bráno jako celek, mylně ukazuje na výrazný poklesový trend zásoby podzemních vod. Vezmeme-li v úvahu období od roku 1973, je zřejmé, že trend bude sice poklesový, ovšem velmi mírně (Obrázek 6, 7). Uvažujeme-li trend za celé období 1961-2000 je opět z grafů vidět, že by zde byl výrazný pokles, zejména na křivkách znázorňujících průměrné roční hodnoty. U křivek minim a maxim je však průběh trendu daleko mírnější a více odpovídá skutečnosti.

Obrázek 6 Trend vrtu KB0653 1961 – 2000



Obrázek 7 Trend vrtu KB0671 1961 – 2000



Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí software AnClim. U všech řešených časových řad byl proveden Kolmogorov-Smirnovův test pro normální rozdělení, vytvořen lineární regresní model, spočítán index determinace (hodnoty v rozmezí 0,34 – 0,51) a korelace (0,58 – 0,71) a vyhodnocena statistická významnost pomocí Mann-Kendalova a Spearmanova testu (Obrázek 8).

Obrázek 8 Statistické vyhodnocení

<b>Statistické vyhodnocení KB0653</b>				
období 1961-2000	<b>Mann - Kendall</b>		<b>Spearman</b>	
	trend	významnost	trend	významnost
roční průměr	▼	stat. významný	▼	stat. významný
roční maxima	▼	stat. významný	▼	stat. významný
roční minima	▼	stat. významný	▼	stat. významný

<b>Statistické vyhodnocení KB0671</b>				
období 1961-2000	<b>Mann - Kendall</b>		<b>Spearman</b>	
	trend	významnost	trend	významnost
roční průměr	▼	stat. významný	▼	stat. významný
roční maxima	▼	stat. významný	▼	stat. významný
roční minima	▶	stat. nevýznamný	▼	stat. nevýznamný

### Výsledky

Pro zhodnocení vlivů vodohospodářských úprav řeky Dyje na režim podzemních vod byla vybrána dvě období. Jednak období 1961 – 1972 pouze z hlediska úpravy Dyje, tedy bez vlivů nádrží u Nových Mlýnů a období 1974 – 2000, tj. po výstavbě novomlýnských nádrží a úpravě Dyje v úseku Břeclav – Nové Mlýny.

Režim hladiny podzemní vody je v zájmové oblasti převážně ovlivňován povrchovým tokem. Vliv atmosférických srážek na hladiny podzemních vod je menší. V úseku Nové Mlýny – Břeclav byla limnigrafická povrchová stanice na Dyji do r. 1988 v Dolních Věstonicích (původně byla v činnosti od roku 1889 do roku 1980). Po výstavbě dolní zdrže VD Nové Mlýny byla stanice přemístěna do Nových Mlýnů. Z hlediska klasifikace jednotlivých roků byly na stanici vyhodnoceny jako velmi suché roky 1971, 1972, 1973 a 1978. Mimořádně vlhké pak byly roky 1954, 1955, 1966 a 1985. V roce 1988 bylo vyhodnocování průtoků na stanici Nové Mlýny zrušeno, protože v profilu docházelo k nepravidelnému vzduť vlivem pohyblivého jezu v Bulharech, který udržuje stálou hladinu nadrženi bez ohledu na průtok. Po



výstavbě střední nádrže byla jako náhrada vybudována vodočetná stanice pod její výpustí a ta byla vyhodnocována do doby vybudování dolní nádrže v roce 1987, kdy byla také zatopena. Po té pozorování přešlo na limnigrafickou stanici Nové Mlýny, než se došlo na uvedené okolnosti a našlo se náhradní řešení - stanice Ladná. Stanice Nové Mlýny má význam pro měření velkých vod, protože to je jediné místo, kde bude celý koncentrovaný průtok vody. Na základě těchto skutečností nebylo možné vytvořit pevnou měrnou křivku. Stanice se vyčíslovala pomocí limnigrafické stanice Ladná.

Pro vyhodnocení dynamiky podzemní vody v letech 1961 – 2000 byly vybrány dva vrty hydrogeologického profilu Podivín – Lednice, a sice vrt KB0653 (nejvzdálenější od vodočtu Dyje) a vrt KB0671 (nejblíže vodočtu). Příslušné vrty byly rozděleny na dvě období (viz výše) a hodnoceny jak pro měsíční průměrné stavy podzemních vod, tak pro roční průměrné hodnoty stavů. Pro stanovení prognóz na objektech bylo třeba vyhodnotit základní charakteristiky stavů podzemních vod (Obrázek 9). Jsou zde uvedeny minimální, maximální a střední hodnota stavů podzemních vod, dále pak také charakteristiky rozkolísanosti jako směrodatná odchylka a variační rozpětí. Variační rozpětí je dáno rozdílem mezi největším a nejnižším výškovým stavem hladin. Všechny uvedené charakteristiky byly spočítány z průměrných měsíčních a ročních hodnot, čímž se mohou vzájemně mírně lišit.

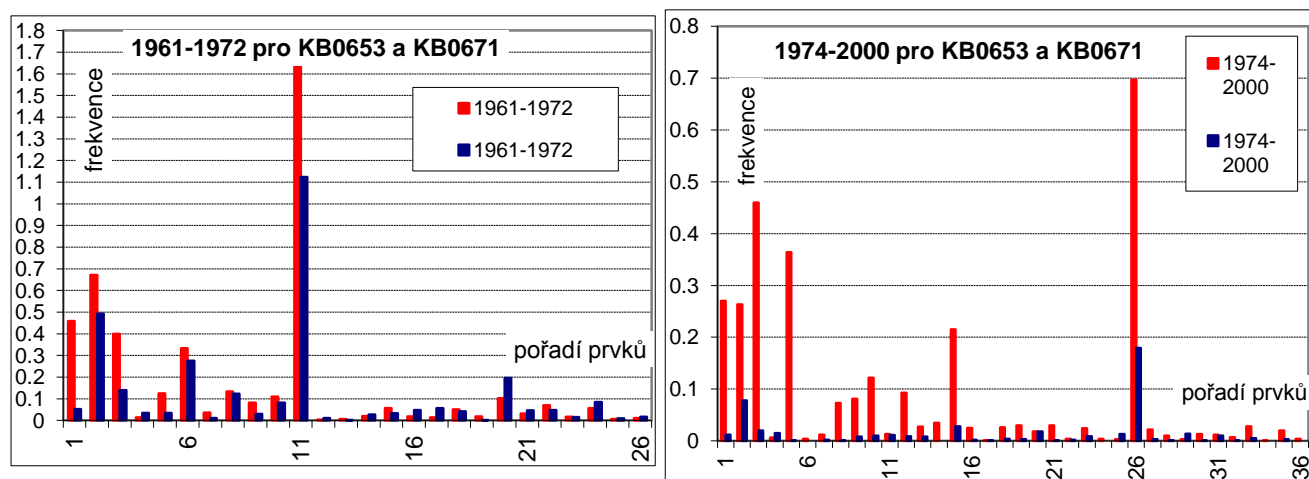
Obrázek 9 Výpočty prognóz vrtů KB0653 a KB0671

	MĚSÍČNÍ PROGNÓZY				ROČNÍ PROGNÓZY			
	KB0653 OB: 161,43 2-4-17-01-044-004							
období	1961 - 1972		1974 - 2000		1961 - 1972		1974 - 2000	
min	3.33		3.71		3.14		3.58	
max	0.53		1.80		1.45		2.59	
variační rozpětí	2.80		1.91		1.70		0.99	
střední hodnota	2.22		3.03		2.27		3.04	
směr. odchylka	0.67		0.36		0.52		0.26	
perioda [rok]	5, 3, 2, 1, 0,5		13, 4, 2,5, 1, 0,5		5, 2,5, 1,5		13, 6,5, 4, 2,5, 1	
prognóza (5 měs.)	HA	LR	HA	LR	HA	LR	HA	LR
	2.34	2.35	3.3	3.49	1.86	1.6	3.23	3.38
	1.92	1.94	3.22	3.37	1.74	1.67	2.95	2.94
	1.56	1.58	3.18	3.29	2.36	2.77	2.92	2.87
	1.33	1.35	3.19	3.27	2.5	2.11	2.74	2.73
	1.27	1.29	3.25	3.32	1.93	1.85	2.95	3.01
spolehlivost	uspokojivá	dobrá	slabá	dobrá	uspokojivá	dobrá	dobrá	dobrá
	0.51	0.08	0.61	0.07	0.46	0.33	0.38	0.25
	KB0671 OB: 162,35 2-4-17-01-011-064							
	1961 - 1972		1974 - 2000		1961 - 1972		1974 - 2000	
min	3.04		3.21		2.61		2.95	
max	0.94		2.01		1.48		2.61	
variační rozpětí	2.10		1.20		1.13		0.34	
střední hodnota	2.18		2.77		2.20		2.77	
směr. odchylka	0.56		0.16		0.34		0.09	
perioda [rok]	3, 2, 1, 0,7, 0,5, 0,25		6,5, 1, 0,5		2,5, 1,5		6,5, 1, 0,5	
prognóza (5 měs.)	HA	LR	HA	LR	HA	LR	HA	LR
	1.66	1.72	2.71	2.71	1.76	1.88	2.77	2.77
	1.29	1.32	2.67	2.67	1.93	2.16	2.77	0.277
	1.18	1.17	2.65	2.65	2.51	2.69	2.89	2.88
	1.25	1.23	2.65	2.65	2.62	2.85	2.82	2.81
	1.37	1.36	2.68	2.68	2.17	2.38	2.86	2.86
spolehlivost	uspokojivá	dobrá	slabá	dobrá	slabá	uspokojivá	uspokojivá	uspokojivá
	0.54	0.09	0.75	0.12	0.63	0.48	0.51	0.5

Pro vrt KB0653 je zřejmý výrazný rozdíl v jednotlivých obdobích, který v měsíčním hodnocení dosahuje ve středních hodnotách až 0,80 m, v ročním vyhodnocení je to přibližně 0,30 m. U vrtu KB0671 je rozdíl také velmi dobře patrný, v měsíčním i ročním hodnocení dosahuje až 0,60 m. U obou vrtů poklesla hladina podzemní vody po roce 1972 v maximech o více než jeden metr, směrodatná odchylka klesla u KB0653 z 0,67m na 0,36m, rozpětí kleslo o 0,89 m. U KB0671 směrodatná odchylka klesla z 0,56m na 0,16m a rozpětí se snížilo o 0,90m. Při vyhodnocení ročních průměrů v jednotlivých obdobích je situace obdobná.

Pro další vyhodnocení dynamiky a trendu podzemní vody byla použita harmonická analýza. Po identifikaci trendu testy náhodnosti se přistoupí k aproximaci matematickými křivkami. Jako nejvhodnější se v hydrologii podzemních vod jeví trend lineární. Je-li lineární trend statisticky významný (určíme dle koeficientu korelace), lze provést eliminaci trendu, což je první krok dekompozice časové řady. Dalším krokem dekompozice časové řady je určení krátkodobých a dlouhodobých periodických kolísání. Periody můžeme zjistit pomocí periodogramu (Obrázek 10). Při použití harmonické analýzy musí časová řada splňovat podmínku, že vybraný časový úsek je homogenní (např. po odečtení trendu). Pro výpočet předpovědi tedy nemusíme vždy uvažovat celou délku časové řady, ale lze vybrat jen určitý úsek. Podle periodogramu vybereme podle délky časové řady 2 – 8 maximálních hodnot a pomocí těchto frekvencí se spočítá prognóza pro následující měsíce či roky. Významnost periody se posuzuje Fischerovým testem. Protože většina period je statisticky nevýznamná, uvažuje se o tendenci k periodicitě. Nejvýznamnější u většiny vrtů se jeví roční perioda, která koresponduje se sezónním doplňováním podzemní vody. Druhá nejvýznamnější je perioda přibližně pětiletá, poté následuje perioda dvouletá.

Obrázek 10 Periodogramy vrtů KB0653 a KB0671



Jak je vidět periody v měsíčním i ročním vyhodnocení si vzájemně pro jednotlivá období odpovídají (Obrázek 9, 10). Pro vybrané periody byly vytvořeny modely pro výpočty prognóz průměrných měsíčních a ročních stavů (Obrázek 9). Pro posouzení spolehlivosti prognóz lze

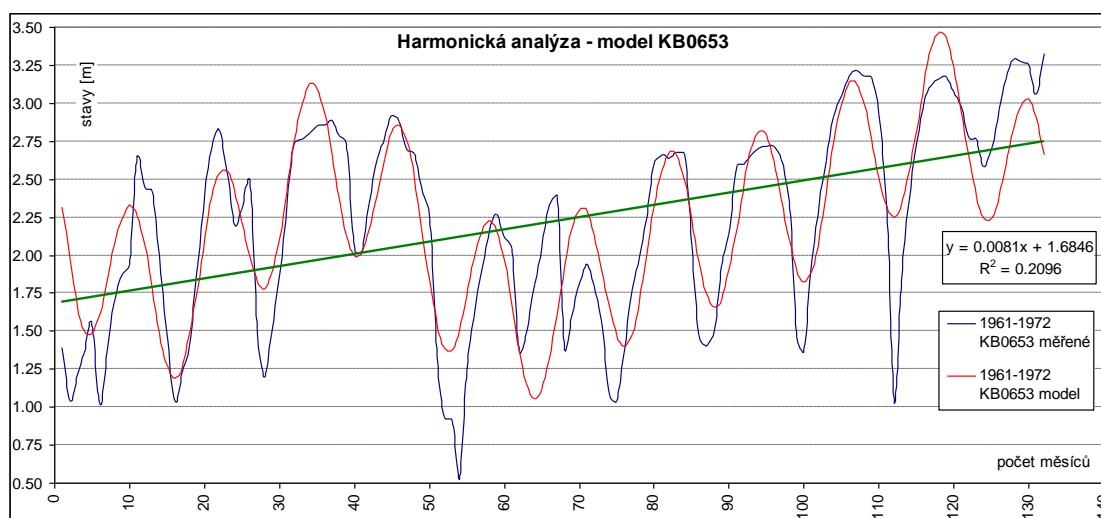
použit velikost rozdílů mezi skutečnou a předpovídanou hodnotou pomocí přípustné chyby ( $F = 0,674 s$ , kde  $s$  je směrodatná odchylka naměřených hodnot) nebo klasifikací efektivnosti předpovědního modelu. To je podíl směrodatných odchylek předpovídaných hodnot a směrodatných odchylek pozorovaných hodnot. Předpověď může být dobrá ( $sp/s < 0,4$ ), uspokojivá (do 0,6), slabá (do 0,8) a neuspokojivá.

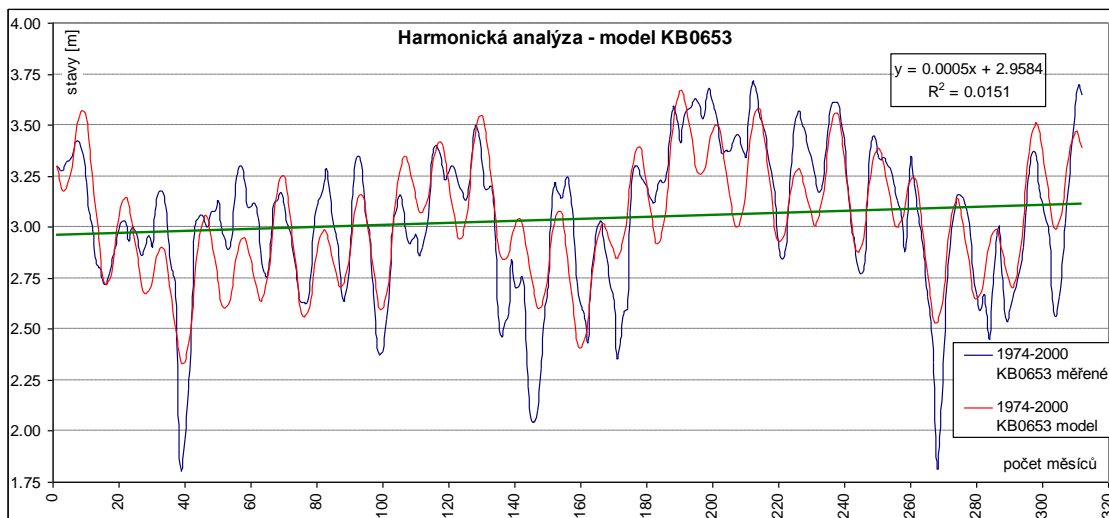
Pro další posouzení spolehlivosti prognóz, bylo ve výpočtech provedeno také srovnání s lineárně-regresním modelem, který vyhodnocuje data zpětně o první tři hodnoty. Tím je predikce přesnější a odchylky mezi modelem a skutečnými hodnotami skoro nulové. V harmonické analýze se odchylky vyhodnocují z tzv. reziduální složky, jejíž kolísání je u správně rozložené řady náhodné. Předpovězené hodnoty pomocí lineárně-regresní analýzy jsou velmi podobné hodnotám z harmonické analýzy, někdy i shodné, ovšem spolehlivost předpovědi je vyšší (Obrázek 9).

Změna dynamiky podzemní vody ve vybraných vrtech pro jednotlivá období je velmi dobře zřetelná (Obrázek 11 a 12). Na každém z objektu v daném období byl vytvořen model pomocí harmonické analýzy a také lineární trend. Z grafického znázornění i vypočtených hodnot lze velmi dobře zhodnotit změnu chování hladin podzemních vod před a po výstavbě hydrotechnických opatření na úseku Nové Mlýny – Břeclav. Hodnoty uváděné v grafech jsou stavy hladiny podzemní vody v metrech pod terénem, vztahuje se na ně tedy obrácené měřítko.

U vrtu KB0653 je zřejmé zaklesávání hladin podzemních vod v období 1961 -1972, jak z modelu, tak zejména z lineárního trendu, který je výrazně poklesový. Po výstavbě novomlýnských nádrží se rozkolísanost podzemní vody výrazně snížila, lineární trend je stále poklesový, avšak velmi mírně.

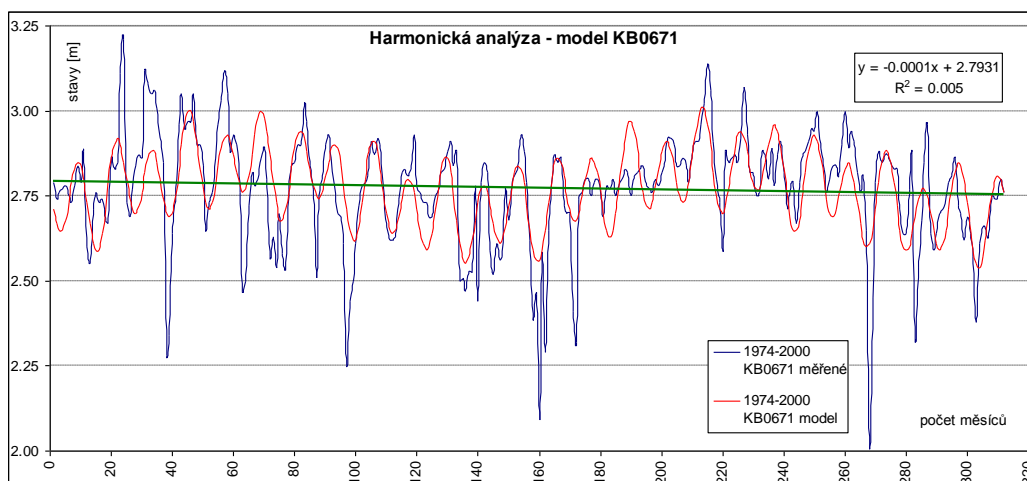
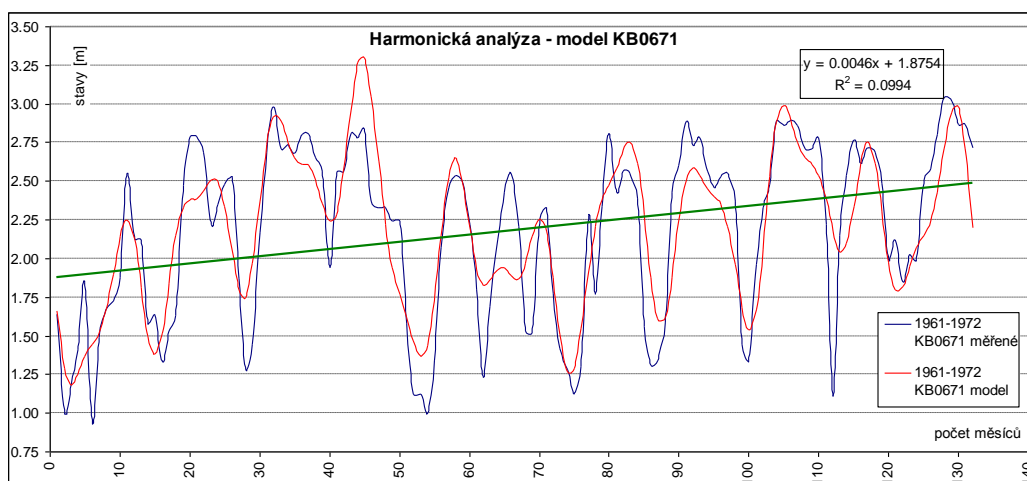
Obrázek 11 Model měsíčních stavů na vrtu KB0653





U vrtu KB0671 je zřejmé zaklesávání hladin podzemních vod v období 1961 -1972, jak z modelu, tak zejména z lineárního trendu, který je taktěž výrazně poklesový, s velkou rozkolísaností měřených hladin podzemních vod. Po výstavbě novomlýnských nádrží se rozkolísanost podzemní vody také výrazně snížila, lineární trend na tomto objektu dokonce přešel ze zaklesávání hladin do mírného nárůstu a plnění podzemních zvodní.

Obrázek 12 Model měsíčních stavů na vrtu KB0671

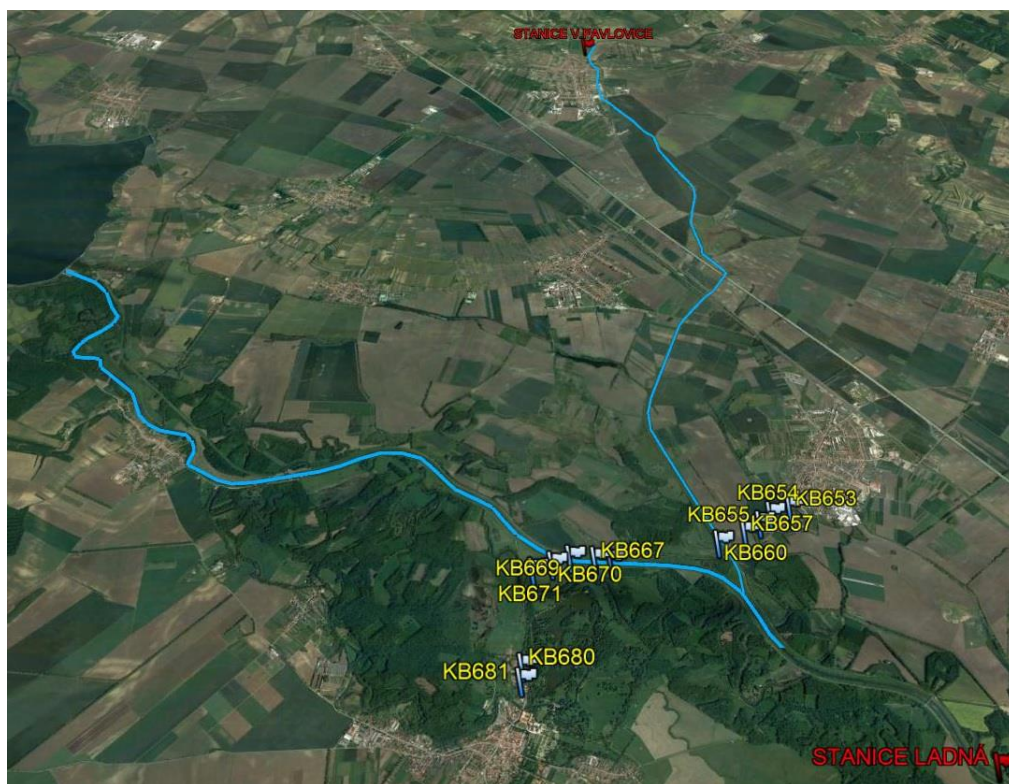


## Diskuze

Vzhledem k datům, která hydrogeologický profil poskytuje, je možné vyhodnotit nejen podrobnou dynamiku podzemní vody na delších vzdálenostech, ale lze ji navázat také na stanice povrchových vod, které se v blízkosti profilů nacházejí. Při budování hydrogeologických profilů byly osazeny vodočty nejen hlavní toky, ale také přilehlé vedlejší toky, procházející profilem. Bohužel však tyto vodočty nebyly v průběhu let rekonstruovány a data tak nemohou být plně využita k vyhodnocení.

Profil Lednice – Podivín lze navázat k povrchové stanici Ladná, která sleduje řeku Dyji a ke stanici Velké Pavlovice, která sleduje tok Trkmanka, jelikož oba toky proudění podzemní vody ovlivňují. Povrchová stanice Ladná se nachází pod profilem Lednice – Podivín, v těsné blízkosti profilu Ladná. Povrchová stanice Velké Pavlovice se nachází nad profilem (Obrázek 13).

Obrázek 13 Mapa povrchových stanic Ladná, Velké Pavlovice a profilu Lednice – Podivín

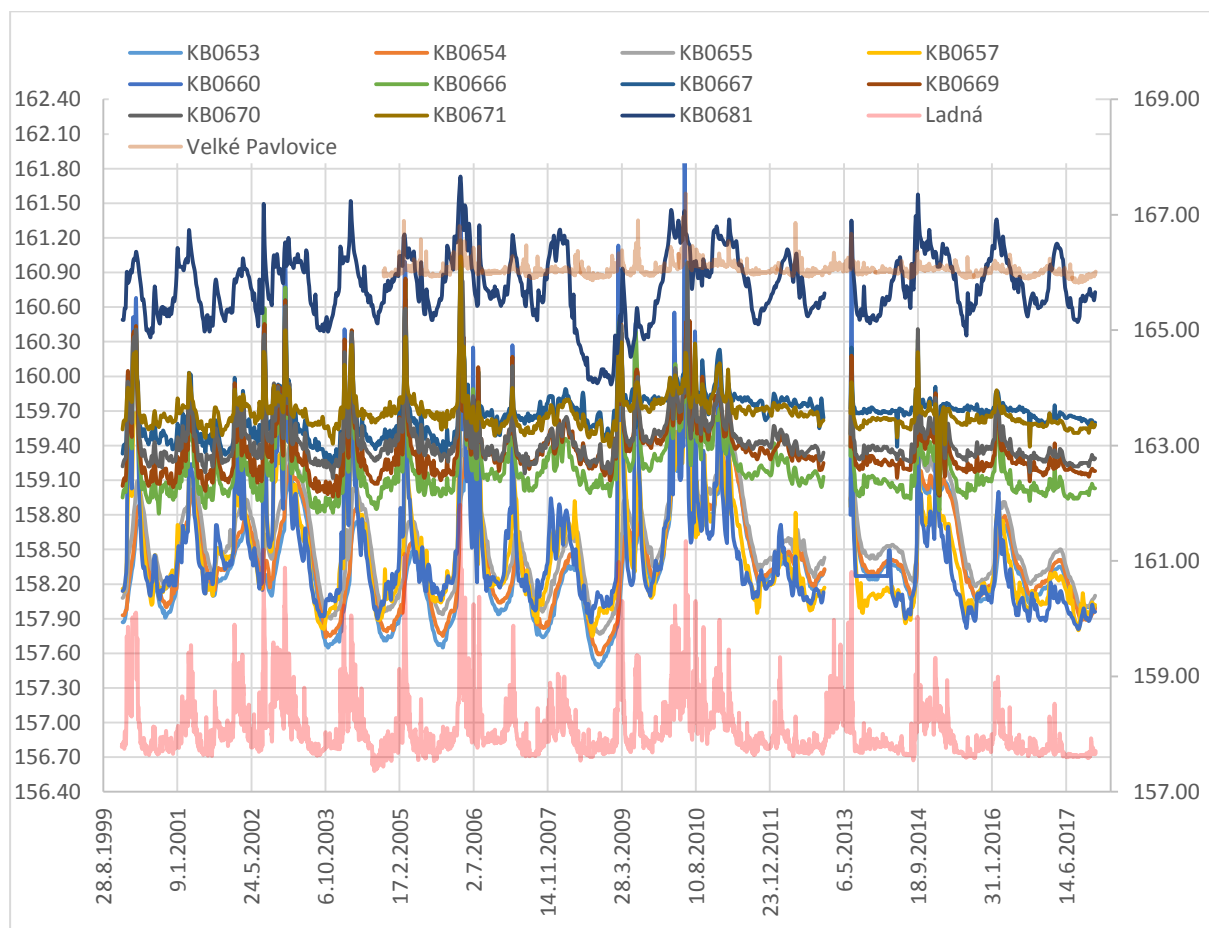


Pro výzkum pohybu podzemní vody a jejího ovlivnění povrchovým tokem bylo použito období 2000 – 2017, vzhledem k aktuálnosti dat a s přihlédnutím k suchému období 2014 – 2017. Následující graf (Obrázek 14) ukazuje srovnání týdenního chodu všech sond profilu Lednice – Podivín (levá osa) a denního chodu stanic Ladná a Velké Pavlovice (pravá osa) ve stavech hladin povrchové a podzemní vody, které jsou uvedeny v nadmořských výškách. Z grafu je názorně vidět podobnost chodu mezi stanicí Ladná a sondami KB0653 – KB0657, KB0660 a KB0661, kdy spolu plně koresponduje doplňování a vysychání jak toku, tak hladin



podzemních vod. Stejně jako stanice Ladná i tyto sondy vykazují poklesový trend. Oproti tomu sondy KB0667, KB670 a KB0671 spíše korespondují s tokem Trkmanka, která má sice také klesající trend, ale velmi mírný. Zde lze říci, že podzemní voda tok dotuje, jelikož vrty KB0667 a KB0671 mají mírný vzestupný trend a sonda KB0670 stejný jako tok Trkmanka. Sondy KB0666 a KB0669 mají stejný průběh jako stanice Ladná, ale z hlediska trendů se chovají obdobně jako tok Trkmanka, lze tedy tyto sondy vyhodnotit jako sondy na hranici působnosti dvou toků.

Obrázek 14 Vývoj hladin podzemních sond a povrchových vod



Námětem k diskusi je tedy zachování stávajících hydrogeologických profilů a i nadále sledovat pohyb podzemní vody vzhledem k datové základně, kterou poskytují k dalšímu vyhodnocování a navázání na hydrologické podmínky krajiny, včetně navázání na pedologii území, srážko-odtokové poměry a antropogenní činnost.

## Závěr

Pozorování hladiny podzemní vody v hydrogeologických profilech má hlavně význam z důvodu navázání profilu na tok, ve kterém byl vždy osazen vodočet, a potom vzhledem k délce nepřetržitého pozorování hladin podzemní vody. Délka časových řad pozorování dnes



již dosahuje 70 let. Z poznání režimu podzemních vod v těchto profilech lze všeobecně vyvodit následující.

Hladina pozemní vody vykazuje v dlouhodobém období u všech vrtů prakticky stejný chod kolísání hladiny podzemní vody s minimy v září a maximy v dubnu, mezi nimiž dochází k pozvolnému pohybu podzemní vody. Hladina podzemní vody je ve vrtech ovlivňována průtoky v řece, minimálně srážkami. Hladina podzemní vody neleží hluboko pod úrovní terénu. Nejhlouběji zaklesává až 4 m pod terén, maximální hladiny vystupují ve vrtech v blízkosti řeky nad terén. Rozkolísanost hladiny podzemní vody je vzhledem k celkové mocnosti zvodní velká. Rozdíl maximálních a minimálních hladin je v průměru okolo 2,5 m. Největších hodnot dosahuje ve vrtech v blízkosti řeky, kde to může být až 4 m.

Vzhledem k dlouhým časovým řadám se mohou vyhodnotit i periody. Nejvýznamnější u většiny vrtů se jeví dvanáctiměsíční perioda, která koresponduje se sezónním doplňováním podzemní vody. Jako druhá nejvýznamnější ze směřodatně prokázaných je perioda přibližně pětiletá. U řad s šedesátiletou řadou pozorování se vyskytují rovněž statisticky významné 30-leté periody. Spolu s periodami souvisí i výskyt minimálních hladin podzemních vod, které se vyskytují asi s desetiletou periodou. Jako mimořádně málo vodné se z hlediska podzemních vod jeví roky 1964, 1974, 1984, 1993. Absolutní minimální hladiny byly ve většině vrtů dosaženy v letech 1991-1992, druhé nejčastější minimum pak bylo v roce 1973 - 1974.

Na základě analýz, které byly vyhodnocovány na profilu v závislosti na povrchových vodách, lze zhodnotit, že pro sledování vývoje dynamiky vody v daném povodí je stěžejní nejen sledování podzemní a povrchové vody, ale také jejich vzájemné propojení, které hydrogeologický profil vzhledem ke svému umístění poskytuje. Délka datových řad k má již 70 let v týdenním kroku (od roku 2013 již v denním) a poskytuje tak možnost srovnání vývoje podzemní a povrchové vody v oblasti, nejen z hlediska hydrologického režimu, ale také vliv antropogenní činnosti. Data mohou poskytnout ucelený přehled o konkrétních oblastech a také pomoci při sledování statistických jevů a výskytu extrémních jevů z pohledu času.

Vzhledem ke stáří profilů by bylo určitě vhodné je plně zrekonstruovat a automatizovat, doplnit vedlejší toky vodočty, propojit data také se srážkoměrnými stanicemi a věnovat se sledování provázanosti všech forem vody, tedy podzemní, povrchové a dešťové.

## **Literatura**

Ing. R. Muzikář, CSc. – Ing. E. Soukalová, CSc.: Prognózy režimu podzemních vod pomocí stochastických modelů, Sborník prací ČHMÚ, svazek 36, rok 1989, 06-055-89

Ing. E. Soukalová, CSc. – RNDr. D. Krejčová: Hodnocení režimu a jakosti podzemní vody v oblasti územní působnosti pobočky ČHMÚ Brno, Sborník prací ČHMÚ, svazek 48, rok 1999, ISBN 80-85813-68-8

Prof. Ing. Dr. L. Votruba, DrSc – Ing. K. Nacházel, CSc.: Základy teorie stochastických procesů a jejich aplikace ve vodním hospodářství  
Interní materiály ČHMÚ

**Kontakt:**

Ing. Hana Hornová

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43, Brno 616 67

541 421 037, hana.hornova@chmi.cz