FOLIA
FACULTATIS SCIENTIARUM NATURALIUM UNIVERSITATIS PURKYNIANAE BRUNENSIS
TOMUS XVIII GEOGRAPHIA 11 OPUS 12

1977

PODZEMNÍ ODTOK VE VYBRANÝCH DÍLČÍCH POVODÍCH ŘEKY MORAVY

ČESTMÍR BRÁZDA

Katedra geografie přírodovědecké fakulty UJEP, Brno, Kotlářská 2, ČSSR

Резюме

Подземный сток в избранных участках бассейна реки Моравы (ЧССР)

В настоящей работе подводятся основные итоги исследований подземного стока в избранных участках бассейна реки Моравы. Исследовательские работы были направлены прежде всего на проверку и на общую оценку некоторых гидрологических методов определения подземного компонента речного стока и на определение качественных и количественных характеристик подземного стока и на их рассмотрение с комплексной точки зрения.

Основным рабочим методом было избрано генетическое расчленение гидрографа на поверхностную и подземную части речного стока. Полученные средние значения, относящиеся к периоду 1961 (2) — 1970 гг., сравнивались со значениями полученными с помощью метода К. Килле (1970 г.) и с данными определенными с помощью „быстрого метода" Г. Кастаны (1970 г.). Из сравнений следовало, что значения, определ енные по методу К. Килле не очень отличаются от значений определенных сепарацией гидрографов и в некоторых случаях они являются практически сходными. Так называемый „быстрый метод" Г. Кастани показал в большинстве случаев значиетльно более низкие значения, и разности по отношению к значениям определенным сепарацией гидрографов были невыравненными.

Далее были выведены так называемые редуцированные значения подземного стока. Избранный метод для редукции месячных значений подземного стока определенных генетическим расчленением гидрографа в основном соответствует методу К. Килле. Главная цель редукции состоит в выделении некоторой маловероятного экстремного значения. Было установлено, что между редуцированными средними значениями подземного стока, требующими длительное время и большой труд и средними значениями, определенными менее трудоемким методом К. Килле, существует тесная связь, которую можно выразить посредством уравнения прямой

$$x = 0{,}925y,$$

в которой x = редуцированный средний сток (м³/с)

y = средний подземный сток (м³/с) по методу К. Килле

Приведенное отношение нельзя пока обобщить и необходимо будет проверить его на большем количестве случаев и в частности на течениях с большим количеством воды.

Количественные характеристики подземного стока указаны в таблицах 3—5. Проще

можно сказать, что на территории слагаемой слабопроницаемыми горными породами подземный сток увеличивается по мере повышения уровня над морем. Наибольшим он является в горных частях изучаемой территории (область источников рек Моравы и Десна), где он близок к значениям 7—8 л/с . км². С постепенным переходом в возвышенности и холмистые области он довольно быстро уменьшается. В Чешскоморавской возвышенности средний модуль подземного стока является самым большим в Ждярских горах (приблизительно 4 л/с . км²), в области источников Йиглавы он близок к 3 л/с . км² и с переходом в ниже расположенные бассейны холмистых областей уменьшается до значчеий около 2 л/с км². С относительно низкими значениями среднего модуля подземного тсока холмистой местности находится в резком контрасте бассейн Свитавы, где над с. Розграни средний модуль подземного стока увеличивается до 5,4 л/с . км². Относительно высокий подземный сток в этой области обусловлен совершенно другими гидрогеологическими условиями по сравнению с другими бассейнами, слагаемыми большей частью кристаллическими горными породами или малорастворимыми седиментами. В бассейн Свитавы включаются верхнемеловые горные породы Устецкой синклинали с большими запасами подземной воды и с многочисленными обильными источниками и группами источников.

В дальнейших частях работы внимание уделяется изменениям подземного стока во времени, общему балансу воды в отдельных бассейнах, и редуцированные средние значения подземного стока сравниваются со средними м-суточными расходами за десятилетие 1961—1970 гг. Из сравнения следовало, что обнаруженные редуцированные значения подземного стока весьма близки к расходам, превышенным в среднем 270—300 дней в год.

Полученные результаты сопоставляются с физико-географическими услоовиями в отдельных областях и оцениваются критически несмотря на ограниченные возможности примененной методики.

Summary

Ground Water Flow in the Selected Partial River Basins of the River Morava (CSSR)

The paper summarises the main results of the research into the ground water flow in the selected river basins of the river Morava. The research work was aimed above all at the verification and overall evaluation of some hydrologic methods of determining the ground water component of the river flow and at stating both qualitative and quantitative characteristics of ground water flow and their evaluation from a complex point of view.

As the basic working method the genetic analysis of a hydrograph into the surface and ground water components of the river flow was chosen. The results of the average value relating to the period of 1961 (2) to 1970 were compared with those obtained by the method of K. Kille (1970) and with the data obtained by means of the "quick method" of G. Castany (1970). From the comparison it followed that the values obtained by the method of K. Kille did not differ much from those obtained by the hydrograph separation and in some cases they were practically identical. The so-called "quick method" of G. Castany resulted in most cases in substantially lower values and the differences with respect to the methods obtained by the hydrograph separation were not balanced.

Further the so-called reduces values of ground water flow were deduced. The method chosen for the reduction of the monthly values of the ground water flow determined by the genetic hydrograph analysis corresponds in principle to the method of K. Kille. The main aim of the reduction was elimination of some extreme value of little probability. It was found out that between elaborately and tediously determined reduced average values of ground water flow and the average values determined by the less laborious method of K. Kille there exists a close relation which can be expressed by the equation of a straight line

$$x = 0.925y$$

n which x = the reduced average ground water flow (m^3/s)

y = the average ground water flow (m^3/s) as per the method of K. Kille

The above relation cannot be generalised for the time being and it will be necessary to verify it on a greater number of cases and, above all, on streams with more water.

Quantitative charakteristics features of ground water flow are given in Tables 3 to 5. In brief it is possible to state that on a territory consisting of slightly permeable crystallic rocks the ground flow increases with increasing height above sea level. It is greatest in the mountain parts of the territory under investigation (the spring area of the Morava and the Desná), where it approaches the vaues of 7 to 8 l/s. km^2. With the gradual transition into highlands and hilly regions it is comparatively quickly reduced. In the Bohemian-Moravian Highlands the average specific ground flow is the highest in the Žďárské vrchy Mountains (approximately 4 l/s. km^2), in the spring area of the Jihlava it approaches 3 l/s. km^2 and in the direction of the lower situated hilly river basins it drops os low as to 2 l/s. km^2. The relatively low values of the average specific ground flow of the hilly areas are sharply contrasted by the river basin of the Svitava where, above Rozhrání, the average specific ground flow increases up to 5.4 l/s. km^2. A relatively high ground flow in that area is due to quite different hydrogeologic conditions when compared with other river basins, consisting mostly of crystalline rocks or of little permeable sediments. The river basin of the Svitava is penetrated by upper cretaceous rocks with rich resources of underground water and with numerous rich springs and spring groups.

Further parts of the paper deal with the seasonal changes of the ground water flow, the overall balance of water in the individual river basins, and the reduced average values of ground flow are compared to "m-daily" flows for the decade of 1961 to 1970. From the comparison it followed that the reduced values of the ground flow found out are very near the discharge rates exceeded on the average 270 to 300 days per year.

The results obtained are confronted with the relations of physical geography of the individual areas and are evaluated critically also due to limited possibilites of the methods applied.

1. ÚVOD

Otázka napájení řek podzemními vodami patří stále k aktuálním problémům soudobé hydrogeologie i hydrologie. Problematický je především spolehlivý kvantitativní odhad podílu podzemních vod na celkovém říčním odtoku. Určení velikosti tohoto podílu, tj. množství podzemní vody zapojující se aktivně do oběhu vody v povodí, má nejen teoretický, ale i značný praktický význam pro řešení mnohých vodohospodářských otázek, z nichž k nejnaléhavějším patří vodárenské využívání přírodních zdrojů podzemních vod. Proto byla otázka napájení řek podzemními vodami zařazena do výzkumného programu katedry geografie přírodovědecké fakulty UJEP. Výzkumné práce byly zaměřeny především k ověření a celkovému zhodnocení některých hydrologických metod určování podzemní složky říčního odtoku a ke stanovení kvalitativních a kvantitativních charakteristik podzemního odtoku a jejich posouzení z komplexního hlediska. Výzkumná etapa proběhla v období 1972—1975 (v návaznosti na některé starší studie) a byla uzavřena závěrečnou zprávou (Č. Brázda, 1976), jejíž podstatná část je shrnuta v této práci.

Naznačenou problematiku jsme řešili ve vybraných dílčích povodích řeky Moravy. Výzkumné práce jsme zahájili v horní části povodí Jihlavy, kde jsme navázali na některé starší práce o podzemním odtoku (A. Matoušek, 1964, Č. Brázda, 1972) a postupovali jsme většinou podél hlavního evropského

rozvodí až do horního povodí řeky Moravy. Přehled vybraných dílčích povodí a některé další údaje obsahuje tabulka 1. Protože šlo o časově náročný a dosti rozsáhlý úkol, podíleli se na něm i posluchači katedry geografie v rámci svých diplomových prací (T. VÁŽAN, 1975, V. HERBER, 1976). Při výpisu podkladových materiálů, konstrukci hydrogramů, kreslení příloh a dalších technických pracech vypomohly zejména s. M. Bílá, J. Janoštíková, A. Povolná a Z. Říhová z katedry geografie, s. M. Drábková, posluchačka IV. roč. geografie a s. V. Chmelová ze SPÚO v Brně. Za veškerou pomoc vyslovuji všem srdečné poděkování. Děkuji i pracovníkům brněnské pobočky Hydrometeorologického ústavu za poskytnutí potřebných hydrologických a klimatických údajů.

Tab. 1. Vybraná dílčí povodí Moravy a vodoměrné stanice

Název toku	Vodoměrná stanice	Plocha povodí (km²)	Lesnatost (%)
Jihlava	Batelov	73,80	30
Jihlava	Dvorce	307,30	30
Brtnička	Brtnice	98,71	30
Jihlava	Ptáčov	963,11	30
Oslava	D. Bory	215,21	30
Balinka	Baliny	161,29	30
Svratka	Borovnice	128,09	60
Svratka	Dalečín	367,01	50
Bystřice	Domanín	20,79	30
Bobrovka	D. Loučky	386,20	20
Svitava	Rozhraní	223,26	30
Křetínka	Letovice	126,02	30
Svitava	Letovice	419,47	30
Morava	Raškov	349,76	50
Desná	Šumperk	241,16	60
Mor. Sázava	Lupěné	444,54	30
Morava	Moravičany	1 558,82	40
Třebůvka	Loštice	573,40	40

2. STRUČNÝ PŘEHLED FYZICKOGEOGRAFICKÝCH A HYDROGEOLOGICKÝCH POMĚRŮ

Orograficky přísluší studované území především k Českomoravské vrchovině (povodí Jihlavy, Oslavy, Svratky a částečně i Svitavy, resp. Křetínky). Převážná část povodí Svitavy je součástí České tabule (Svitavská pahorkatina). Povodí ve východní části studovaného území příslušejí (s výjimkou malých výběžků Boskovické brázdy a Drahanské vrchoviny) k pahorkatinám, vrchovinám a zčásti i pohořím Sudetské soustavy (větší část horního povodí Moravy s dílčími povodími Desné, Třebůvky a Moravské Sázavy).

Ve většině povodí převládá mírně zvlněný pahorkatinný a vrchovinný reliéf. S většími výškovými rozdíly se setkáváme v nepříliš rozsáhlých vrcholových částech Českomoravské vrchoviny, tj. ve Žďárských a Jihlavských vrších a v nejhořejší části povodí Moravy, kde poměrně vysoká pohoří Sudetské

soustavy (Králický Sněžník, Rychlebské hory a Hrubý Jeseník) spadají příkře do pahorkatin a vrchovin v podhůří i širším okolí vysokých sudetských pohoří.

S naznačenými výškovými rozdíly a odlišným charakterem reliéfu v některých povodích, souvisí i rozdíly v klimatických, půdních a vegetačních poměrech a tím i v podmínkách utváření odtoku. Tato výšková závislost je však v některých povodích narušena specifickými hydrogeologickými poměry. Tak je tomu především v povodí Svitavy nad Rozhráním, do něhož zasahují svrchnokřídové sedimenty ústecké synklinály známé velkými zásobami podzemní vody a výskytem vydatných pramenů a pramenních skupin zejména v Březové n/Svit. a okolí (viz např. O. Hynie, 1961, H. Kříž, 1975). V této oblasti dochází na jedné straně k intenzivní infiltraci povrchových vod a na druhé straně k četným vývěrům podzemních vod do povrchových toků.

Ve většině povodí studovaného území převládají horniny slabě až velmi slabě propustné a proto i chudé na podzemní vodu. V západní části zájmového území, orograficky příslušející k Českomoravské vrchovině, patří k těmto horninám se slabou puklinovou propustností různé typy rul a migmatitů a další krystalické břidlice moravské větve moldanubika a kutnohorského krystalinika (resp. svratecké antiklinály). Místy zaujímají dosti velkou rozlohu hlubinné horniny moldanubických plutonů, o nichž se všeobecně soudí, že mají lepší puklinovou propustnost než krystalické břidlice (srovn. O. Hynie, 1961).

Horniny moldanubika sahají až k morávní linii, která prochází povodím Svratky zhruba od Dolních Louček k severu přes Štěpánov na Svojanov a Rohoznou. Východně od ní pokračují krystalické horniny moravskoslezské oblasti: moravská svorová zóna, moravikum (svratecká klenba) a letovické krystalinikum. Moravskoslezská oblast pokračuje i do východní části studovaného území, a to především do Hrubého Jeseníku (keprnicko-desenská jednotka) a jeho podhůří, kde jsou vedle rul, fylitů, kvarcitů a jiných krystalických břidlic zastoupeny dosti významnou měrou i krystalické vápence.

V moravskoslezské oblasti nacházíme i sedimentární horniny jejího tzv. variského moravskoslezského flyšového pásma: spodnokarbonské jílovité břidlice, droby a slepence. K alpinotypní brněnské jednotce pak patří devonské vápence Konicko-mladečského krasu zasahující společně se spodnokarbonskými sedimenty do povodí Třebůvky.

Moravskoslezská oblast sousedí v horní části povodí Moravy se západosudetskou oblastí neboli lugikem. K ní patří především Králický Sněžník, Rychlebské hory a zábřežské krystalinikum, tvořící značnou část povodí Moravské Sázavy. Malým výběžkem zasahuje lugikum do severního okraje Českomoravské vrchoviny (poličské krystalinikum v povodí Svratky).

Povodím Moravské Sázavy a Třebůvky prochází od severu k jihu pruh permských hornin (jílovité břidlice, siltovce, arkózy a slepence), jež patří k tektonické depresi Boskovické brázdy (v geologickém pojetí). S těmito horninami se stýkají většinou tektonicky svrchnokřídové sedimenty, jež zaujímají, jak již bylo uvedeno, největší rozlohu v povodí Svitavy.

Ve sníženinách, především v depresích Boskovické brázdy a Podorlické pahorkatiny, se uchovaly zbytky neogenních usazenin, jež jsou zpravidla velmi málo propustné až relativně nepropustné.

Ze čtvrtohorních uloženin jsou z hydrogeologického hlediska důležitá štěrkopísčitá souvrství údolních niv, jako např. na středním toku Jihlavy

a především podél řeky Moravy v Mohelnické brázdě, kde jsou vyvinuta ve větším plošném i vertikálním rozsahu. V procesu utváření odtoku se dále významně uplatňují zvětraliny a svahové uloženiny. Pokud mají tyto zeminy příznivé fyzikální vlastnosti, zadržují značné množství srážkové vody, která pak může postupně pronikat do puklin skalního podloží a doplňovat zásoby podzemních vod. V místech, kde puklinové podzemní vody vystupují k povrchu, dostávají se většinou opět do čtvrtohorních pokryvů a z nich pak vyvěrají v podobě sutových pramenů, jež přispívají k napájení vodních toků.

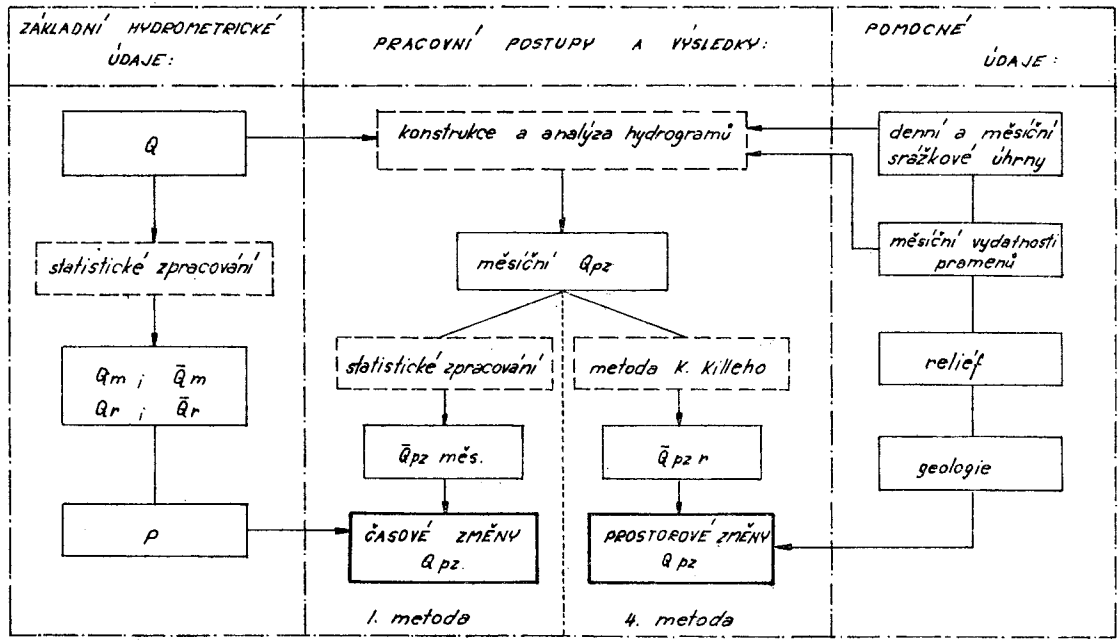
Závěrem je třeba dodat, že proces utváření odtoku je ve studované oblasti do jisté míry ovlivněn umělými zásahy lidské činnosti. V povodích na Českomoravské vrchovině existuje např. velké množství rybníků a byly zde zřízeny i menší přehradní nádrže, jež v celkovém souhrnu s rybníky působí jako regulátory odtoku. Dále jsou to odběry vody v jednotlivých povodích. Největší odběr podzemních vod je v povodí Svitavy pro brněnský vodovod. Nelze přehlížet ani zásahy do oběhu vody v souvislosti s melioracemi (drenážováním) zejména na Českomoravské vrchovině a v jiných zemědělsky využívaných oblastech.

3. METODIKA VÝZKUMNÝCH PRACÍ

Metodika určování podzemního odtoku není zatím propracována natolik, aby poskytla vždy jednoznačné a dobře přijatelné výsledky. Proto bylo jedním z cílů našeho výzkumu porovnat vzájemně výsledky, k nimž se dospělo různými metodami. Vzhledem k dostupným podkladovým materiálům byly vybrány tyto čtyři metodické postupy:

1. První způsob spočíval v genetickém rozčlenění hydrogramu na povrchovou a podzemní složku říčního odtoku. Tento postup je v principu známý již po několik desetiletí (zmiňuje se o něm např. již v roce 1928 V. G. Glušков na II. všesvazovém hydrologickém sjezdu v SSSR; viz S. N. Bogoljubov, Z. P. Bogomazova, 1955). V našem případě jsme nahradili obvykle plynulou separační čáru lomenou přímkou, kterou jsme přikládali k nejníže položeným bodům na hydrogramu. V obdobích velké vodnosti (povodňové vlny zejména v jarním a předjarním období) jsme předpokládali pozvolné narůstání podzemního odtoku. Tento předpoklad je možno zdůvodnit tím, že podzemní vody, jež se účastní na napájení vodních toků ve studované oblasti, obíhají v poměrně malé hloubce pod povrchem území a vyvěrají nad úrovní nebo v úrovni místních erozních bází. Režim těchto mělkých podzemních vod je závislý na atmosférických vlivech (především na srážkách) a nikoliv na úrovních hladiny ve vodních tocích. Proto dochází v obdobích zvýšené intenzity vsakování srážkových či tavných vod k oživení vydatností pramenů (s určitým zpožděním) a tedy i ke zvýšenému napájení vodních toků podzemními vodami (viz např. A. I. Čebotarev, 1960, B. I. Kudělin in V. M. Maximov a kol., 1967, W. Lillich, 1970 aj.).

Tento poměrně jednoduchý postup má však některé nedostatky, které mohou být příčinou nesprávného určení velikosti podzemního odtoku. Nejčastěji vytýkaným nedostatkem je subjektivní ovlivnění průběhu separační čáry, podmíněné větším počtem možností při výběru bodů na hydrogramu. Další komplikace a možnosti vzniku chyb nastávají při separaci částí hydrogramu

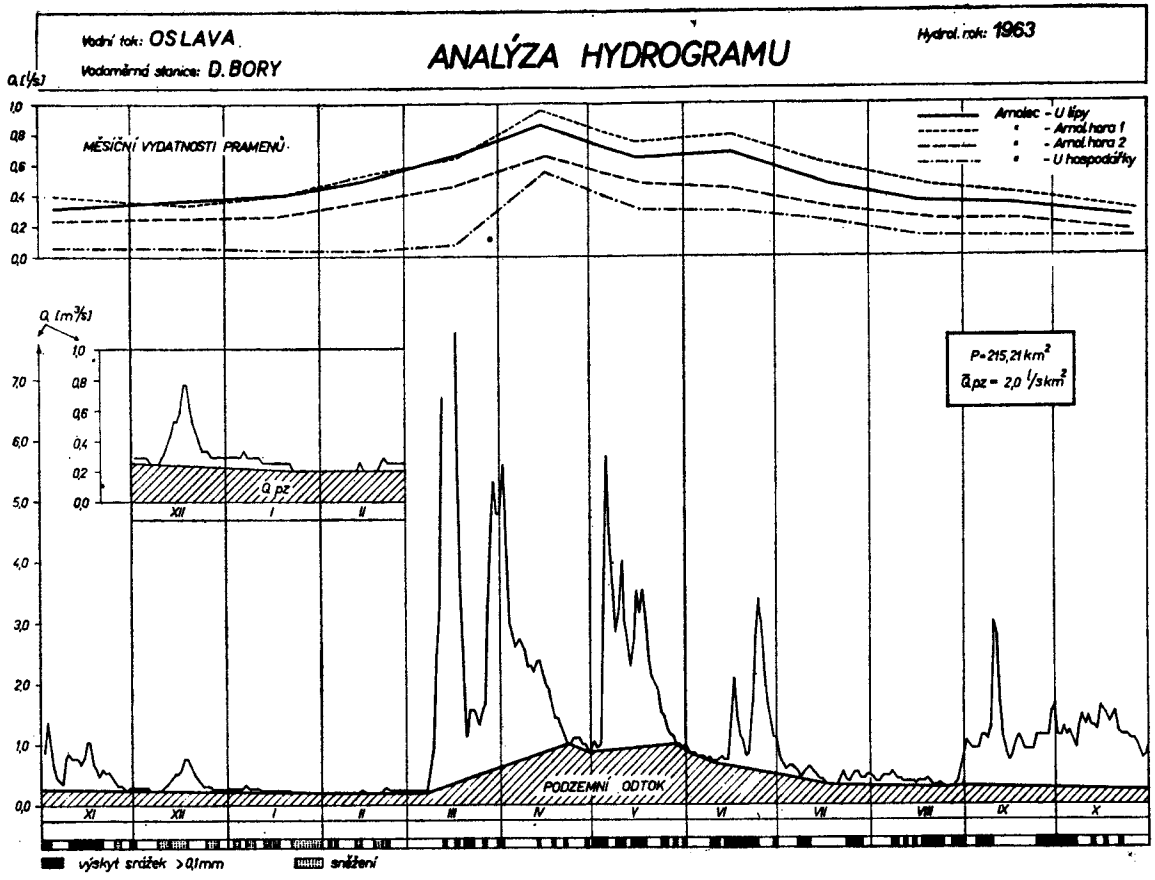


Q = průměrné denní průtoky • Qr = roční průtoky Qpz = podzemní odtok

Qm = měsíční průtoky Q̄r = desítileté průměry Q̄pz r = redukovaný prům. Qpz

Q̄m = průměrné měsíční průtoky P = plocha povodí Q̄pz měs. = prům. měsíční podzemní odtok

Obr. 1. Metodické schema stanovení časových a prostorových změn podzemního odtoku.
Рис. 1. Методическая схема определения временных и пространственных изменений подземного стока.
Fig. 1. Methodological diagram of determining seasonal and space changes of the ground flow.



Obr. 2. Příklad analýzy hydrogramu řeky Oslavy v D. Borech.
Рис. 2. Пример анализа гидрографа реки Осмавы в с. Д. Боры.
Fig. 2. Example of hydrograph analysis of the river Oslava at D. Bory.

znázorňujících období zvýšené vodnosti řeky. Pořadnice přechodně pokleslých průtoků v tomto období nemusí být totožné s podzemním napájením toku. K podobným rozdílům může docházet i v obdobích poměrně nízkých průtoků, avšak tyto rozdíly jsou méně pravděpodobné a jsou zdrojem menších chyb absolutních hodnot podzemního odtoku.

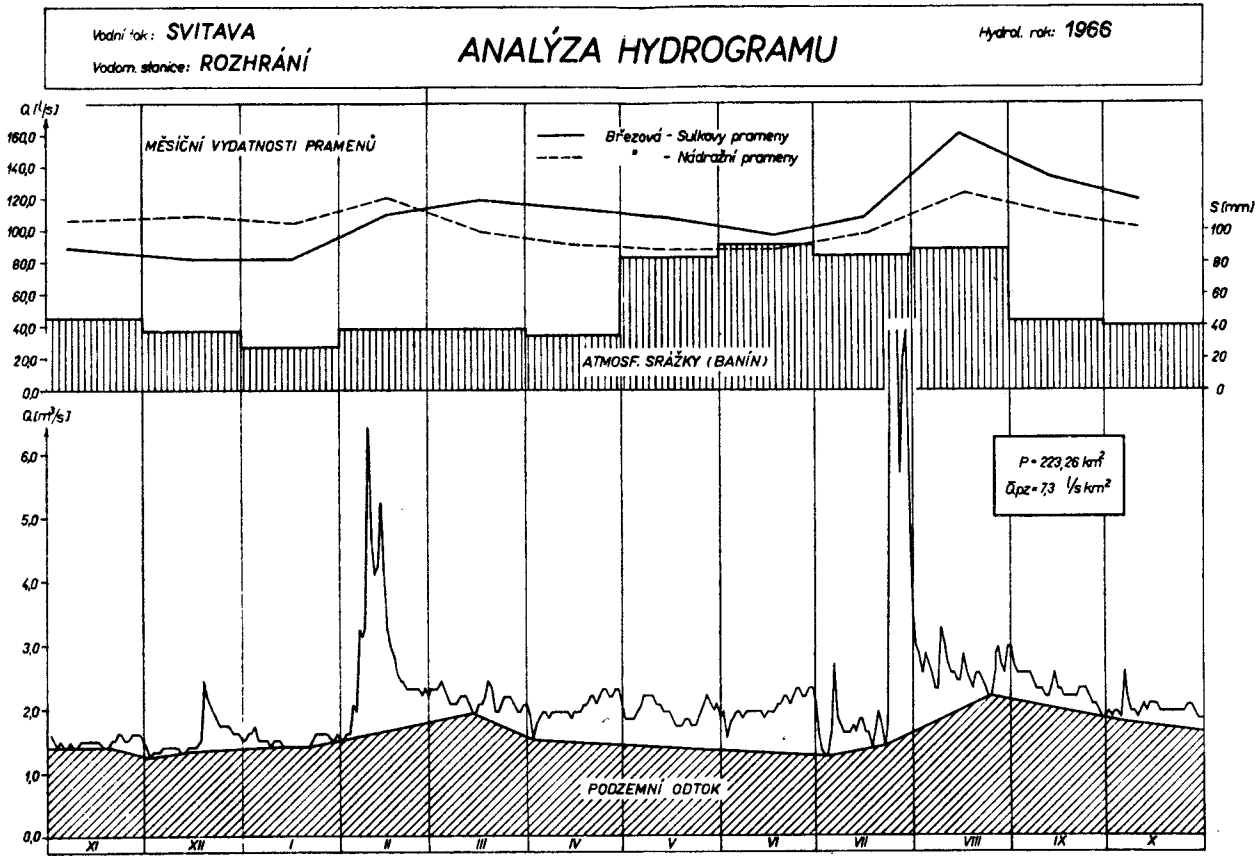
Ve snaze o největší možné přiblížení se ke skutečným poměrům, přihlíželi jsme k některým dalším ukazatelům, především ke srážkovým poměrům a k vydatnostem pramenů v příslušných povodích. V počátečních fázích výzkumu, kdy jsme získávali zkušenosti s rozčleňováním hydrogramů, jsme brali v úvahu denní srážkové úhrny a rozlišovali jsme i skupenství srážek, podle něhož jsme zhruba usuzovali na teplotní poměry v jarním a předjarním období. To umožňovalo alespoň přibližně posoudit proces utváření odtoku vzhledem k měnící se propustnosti půdních vrstev vlivem jejich postupného rozmrzávání. Během dalších fází výzkumu jsme od tohoto pracného a zdlouhavého postupu upustili a přihlíželi jsme jen k měsíčním srážkovým úhrnům.

Významným vodítkem při rozboru hydrogramů byly vydatnosti pramenů, jejichž změny charakterizují ve studovaném území dynamiku podzemního odtoku. Na možnost využití reprezentativních údajů o vydatnostech pramenů při určování podzemního odtoku upozornil např. F. A. Makarenko (in I. B. Vofcun, 1972). V našem případě jsme porovnávali průběh separační čáry na jednotlivých hydrogramech s čarami měsíčních vydatností pramenů a tam, kde docházelo k podstatným rozdílům, provedli jsme příslušné korekce v průběhu separační čáry. Tento postup byl možný jedině tam, kde byly k dispozici prameny pravidelně sledované Hydrometeorologickým ústavem. Přehled pramenů, k nimž jsme přihlédli, poskytuje tabulka 2.

Tab. 2. Seznam pramenů

Hydrologické číslo (název) pramene	Obec (katastr)	Nadmořská výška (m)
3-4-16-01-014-01	Milíčov	657
3-4-16-01-014-02	Milíčov	627
3-4-16-01-010-02	Chrástov	681
3-4-16-01-013-01	Buková	640
3-4-16-02-026-01	Arnolec	647
3-4-16-02-026-02	Arnolec	638
3-4-16-02-026-03	Arnolec	642
3-4-16-02-026-07	Arnolec	568
Sulkovy prameny	Březová	—
Nádražní prameny	Brněnec	—
3-4-10-01-001-02	D. Morava	775
3-4-10-01-001-03	D. Morava	750

2. Druhý způsob spočíval ve vyrovnání hodnot minimálních měsíčních průtoků přímkou. Tento postup navrhl K. Kille (1970) a u nás bývá označován jako metoda minimálních měsíčních průtoků nebo metoda K. Killeho (např. M. Olmer, 1974 aj). Postupuje se tak, že se nejprve vyhledají nejmenší průměrné denní průtoky v jednotlivých měsících studovaného období, seřadí se podle velikosti a bodově znázorní do pravoúhlé sítě souřadnic. Takto zná-

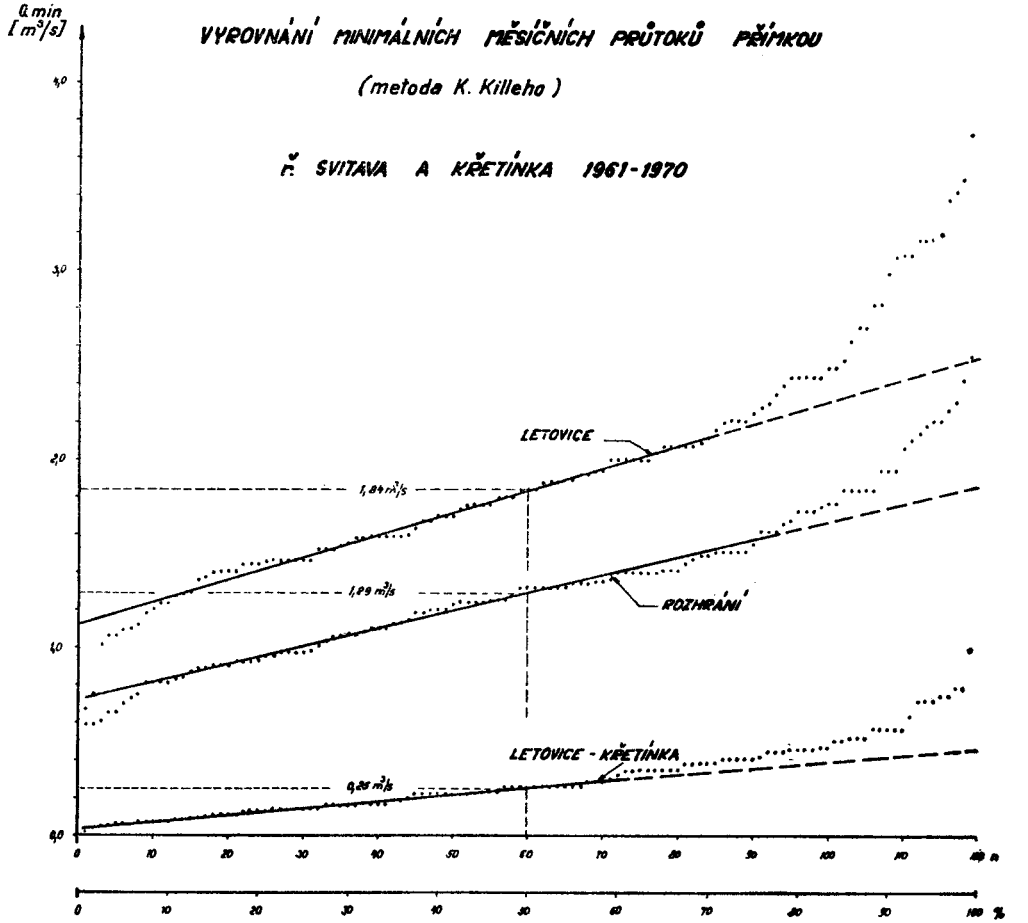


Obr. 3. Příklad analýzy hydrogramu řeky Svitavy v Rozhrání.
Рис. 3. Пример анализа гидрографа реки Свитавы в с. Розграни.
Fig. 3. Example of hydrograph analysis of the river Svitava at Rozhrání.

zorněná množina bodů se vyrovná přímkou. Její střední ordinátě odpovídá průměrný podzemní odtok za zvolené období, které nemá být kratší než deset roků (podrobněji viz K. Kille, 1970).

3. Třetí způsob doporučil G. Castany (1970). Jde o přibližný odhah průměrného podzemního odtoku podle průměrných průtoků nejsušších měsíců desetiletí. Z nich se vypočte aritmetický průměr, který se považuje za rovný průměrnému podzemnímu odtoku.

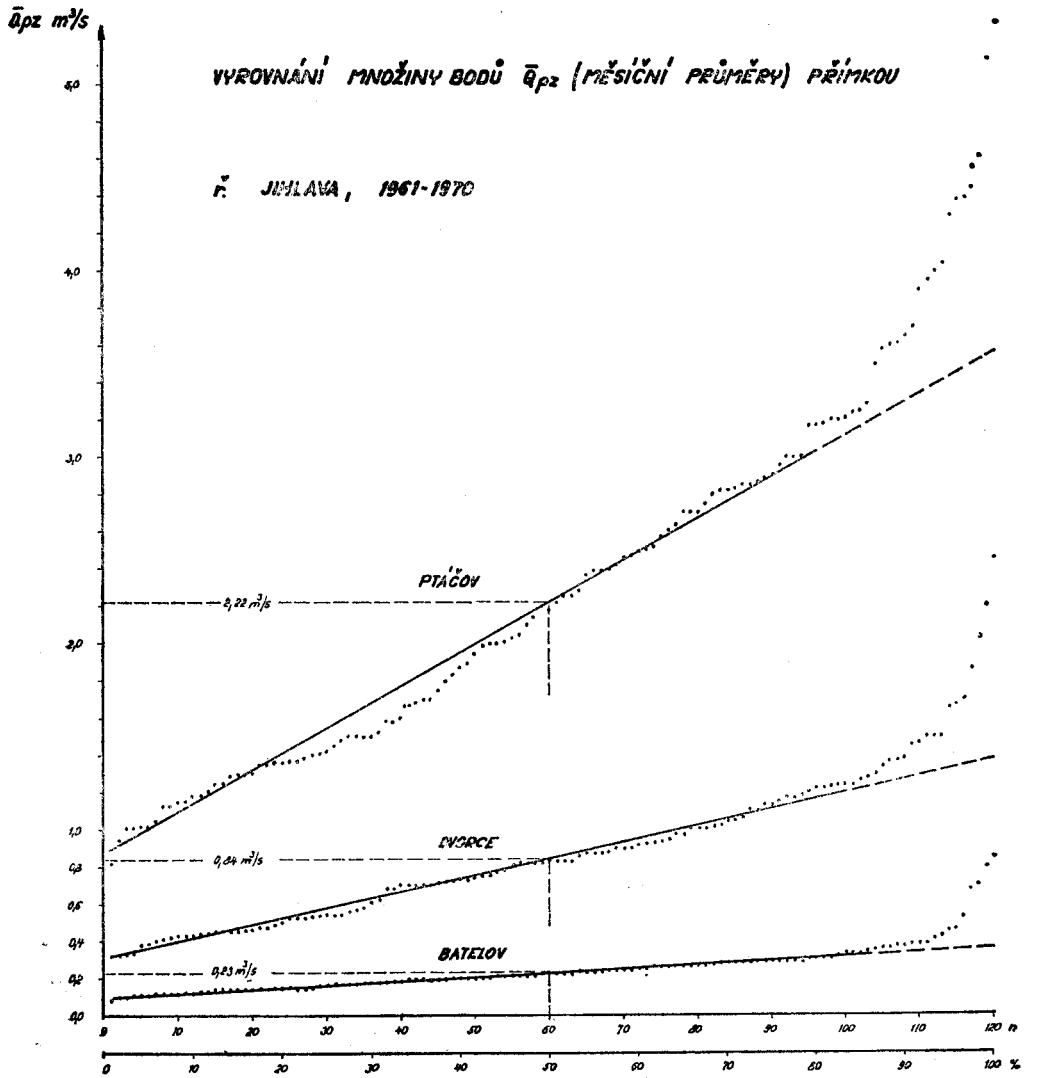
4. Čtvrtý způsob je založen opět na metodě K. Killeho, aplikované však na měsíční hodnoty podzemního odtoku, stanovené separací hydrogramu, tj. podle 1. metody. Soubor měsíčních hodnot podzemního odtoku seřazený podle



Obr. 4. Příklad aplikace metody K. Killeho (řeka Svitava a Křetínka, období 1961 až 1970).

Рис. 4. Пример применения метода К. Килле (река Свитава и Кршетинка, период 1961—1970 гг.)

Fig. 4. Example of the application of the method of K. Kille (the rivers Svitava and Křetínka, period 1961 to 1970).



Obr. 5. Vyrovnání měsíčních hodnot podzemního odtoku přímkou a stanovení průměrné hodnoty redukovaného podzemního odtoku (řeka Jihlava, období 1961—1970).

Рис. 5. Выравнение месячных значений подземного стока с помощью прямой и определение среднего значения редуцированного подземного стока (река Йиглава, период 1961—1970 гг.)

Fig. 5. Levelling the monthly values of the ground flow by a straight line and determination of the average value of the reduced ground flow (the river Jihlava, period 1961 to 1970).

velikosti se vyrovná přímkou, na které se vyhledá hodnota odpovídající mediánu a zároveň i průměrnému podzemnímu odtoku za zvolené období. Nejde o nový metodický postup, ale o mechanickou pomůcku, směřující k vyloučení málo pravděpodobných extrémních hodnot. Průměrnou hodnotu získanou tímto postupem jsme označili jako redukovaný podzemní odtok.

4. PODZEMNÍ ODTOK

Pod pojmem „podzemní odtok" se obvykle rozumí výtok vody ze zvodnělých vrstev (resp. z pásma nasycení) do povrchových toků (srov. např. O. Dub, J. Němec a kol., 1969, K. Kliner, 1969 aj.). Představuje tedy určitou část podzemních vod, která se podílí na napájení řek a tím i na celkovém oběhu vody v povodí. Při kvantitativním posuzování tohoto zdroje napájení vodních toků jsme vyšli z průměrných denních průtoků za desítiletí 1961—1970, výjimečně za poněkud kratší období 1962—1970 (v textu i tabulkách je uváděno jednotné označení období 1961(2)—1970). Zaměřili jsme se především na určení průměrných hodnot podzemního odtoku a na vzájemné porovnání výsledků dosažených podle jednotlivých metod.

4.1 Průměrné hodnoty a jejich porovnání

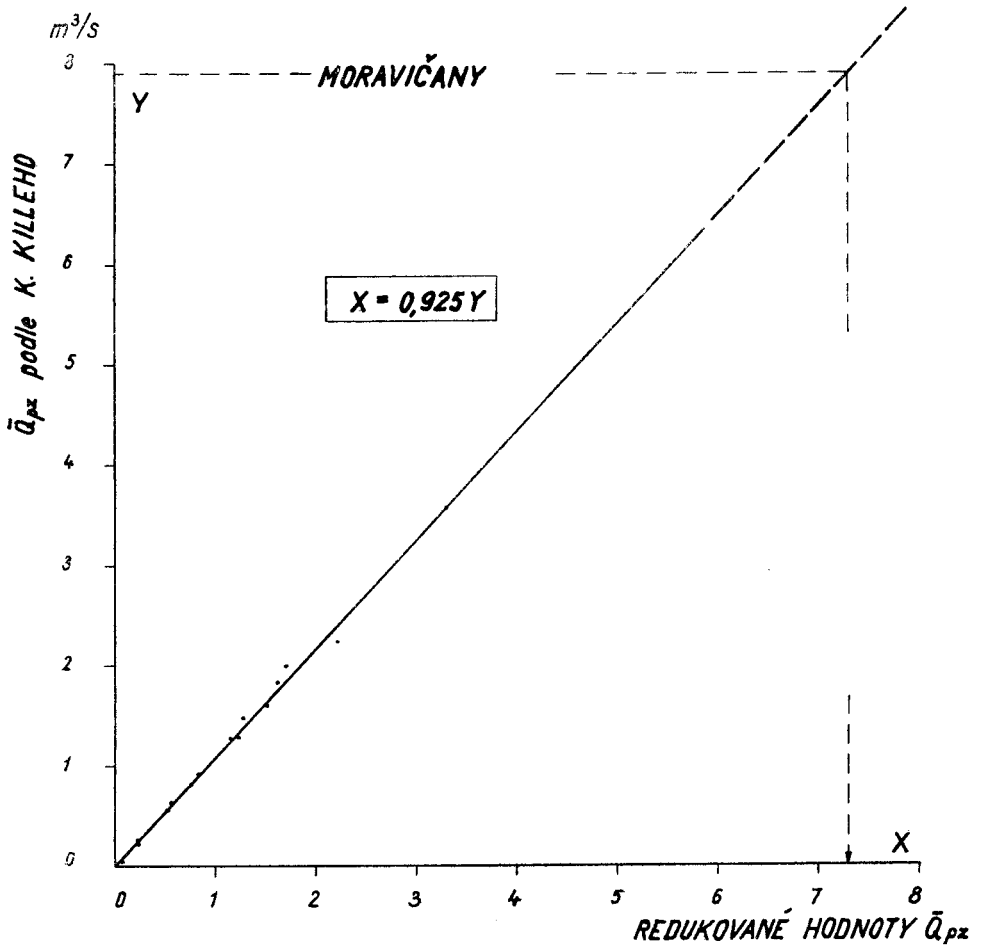
Průměrné hodnoty podzemního odtoku (v m^3/s) jsou uvedeny v tabulce 3. V prvním sloupci této tabulky jsou obsaženy údaje získané genetickým rozčleněním hydrogramů, ve druhém sloupci stanovené metodou K. Killeho, ve třetím sloupci podle G. Castanyho a čtvrtý sloupec obsahuje redukované hodnoty podzemního odtoku podle 4. metody.

Tab 3. Průměrný podzemní odtok (v m^3/s) — období 1961(2)—1970

Vodoměrná stanice metoda	Podzemní odtok (m^3/s)			
	1.	2.	3.	4.
Batelov	0,25	0,24	0,23	0,23
Dvorce	0,88	0,93	0,76	0,84
Brtnice	0,23	0,20	0,22	0,20
Ptáčov	2,33	2,25	1,90	2,22
D. Bory	0,60	0,56	0,41	0,52
Baliny	0,38	—	0,19	0,29
Borovnice	0,61	0,58	0,41	0,56
Dalečín	1,22	1,28	0,96	1,15
Domanín	0,06	0,05	0,04	0,05
D. Loučky	0,84	0,82	0,63	0,75
Rozhrání	1,25	1,29	1,12	1,21
L.-Křetínka	0,24	0,25	0,18	0,21
Letovice-S.	1,69	1,84	1,61	1,62
Raškov	2,72	3,25	2,40	2,72
Šumperk	1,84	2,02	1,72	1,70
Lupěné	1,61	1,60	1,20	1,52
Moravičany	—	7,90	5,80	7,30
Loštice	1,38	1,48	1,30	1,26

Z tabulky 3 vyplývá, že první dvě metody (genetické rozčlenění hydrogramu a metoda K. Killeho) poskytly ve většině případů velmi podobné, někdy prakticky shodné, výsledky. Rozdíly nepřesáhly 10 %. Výjimkou je ojedinělý případ — vodoměrná stanice Domanín, kde byl podzemní odtok určen podle průtoků řádu 10^{-2} m³/s a kde malá odchylka v absolutní hodnotě mohla významně ovlivnit sledovaný rozdíl.

Třetí metoda (podle G. Castanyho) poskytla v porovnání s předchozími dvěma postupy většinou výrazně nižší hodnoty. Rozdíly vzhledem k hodnotám stanoveným separací hydrogramů byly nevyrovnané, většinou dosahovaly 10—25 % a v některých případech byly i větší.



Obr. 6. Závislost mezi průměrným podzemním odtokem určeným metodou K. Killeho a mezi průměrnými redukovanými hodnotami podzemního odtoku.

Рис. 6. Зависимость между средним подземным стоком определенным методом К. Килле и средними редуцированными значениями подземного стока.

Fig. 6. The correlation of the average ground flow determined by the method of K. Kille and the average reduced values of ground flow.

Redukcí průměrného podzemního odtoku podle 4. metody se hodnoty snížily průměrně o 2 % proti hodnotám stanoveným separací hydrogramů. Tyto redukované hodnoty jsou v těsném vztahu i k hodnotám určeným metodou K. Killeho (obr. 6). Tento vztah je možno vyjádřit rovnicí přímky

$$x = 0{,}925y \qquad (1)$$

v níž x = redukovaný průměrný podzemní odtok (m^3/s)

y = průměrný podzemní odtok (m^3/s) podle metody K. Killeho.

Tento vztah nelze zatím zevšeobecnit. Míru jeho těsnosti bude nutno prokázat na větším počtu případů a zejména na vodnějších tocích, kde může docházet k větším odchylkám od předpokládané (extrapolované) závislosti.

4.2 Podíl podzemního odtoku na celkovém říčním odtoku a průměrný specifický podzemní odtok

Pro názornější představu o prostorových změnách podzemního odtoku a o významu podzemních vod při napájení vodních toků v jednotlivých částech studovaného území jsme vypočetli jednak relativní podíly podzemního odtoku na celkovém říčním odtoku a jednak průměrný specifický podzemní odtok. V obou případech jsme vycházeli z redukovaných hodnot stanovených podle 4. metody. Průměrný specifický podzemní odtok se vztahuje k ploše vymezené orografickým rozvodím, která nemusí souhlasit se skutečnou plochou, z níž se uskutečňuje podzemní napájení vodních toků. Jde proto o fiktivní údaje,

Tab. 4. Podíly podzemního odtoku na celkovém říčním odtoku (v %) průměrný specifický podzemní odtok (v $l/s \cdot km^2$) — období 1961(2)—1970

Vodoměrná stanice	Relativní podíly (v %)	Průměrný specifický podzemní odtok ($l/s \cdot km^2$)
Batelov	33,3	3,1
Dvorce	36,1	2,7
Brtnice	33,3	2,0
Ptáčov	34,7	2,3
D. Bory	32,1	2,4
Baliny	28,7	1,8
Borovnice	36,8	4,4
Dalečín	33,4	3,1
Domanín	27,8	2,4
Dol. Loučky	30,8	1,9
Rozhrání	72,0	5,4
Letovice-Křetínka	33,3	1,7
Letovice-Svitava	59,8	3,8
Raškov	41,2	7,8
Šumperk	37,7	7,1
Lupěné	32,3	3,4
Moravičany	38,4	4,7
Loštice	40,2	2,2

které se mohou v jednotlivých konkrétních případech více či méně lišit od skutečných poměrů. Výsledné hodnoty se vztahují k období 1961(2)—1970 (tabulka 4).

Podíl podzemních vod na celkovém říčním odtoku je největší v území složeném ze svrchnokřídových hornin ústecké synklinály, tj. v povodí Svitavy nad Rozhráním, kde činí 72 %. V pramenné oblasti Moravy a Desné je blízký 40 % a zhruba stejný je i v mnohem níže položeném povodí Třebůvky. Poměrně nízký průměrný specifický odtok v povodí Třebůvky naznačuje, že na zvýšeném podílu podzemního odtoku se pravděpodobně podílí jen menší část povodí, do níž zasahují svrchnokřídové vrstvy, zatím co zbývající větší část povodí, tvořená hlavně slabě propustnými spodnokarbonskými horninami a málo propustnou sedimentární výplní Boskovické brázdy, přispívá zřejmě jen velmi slabě k napájení vodních toků podzemní cestou.

Na Českomoravské vrchovině se v horních částech povodí většiny toků podílí podzemní odtok zhruba z 1/3 na celkovém napájení řek a jen místy se tento podíl zvětšuje (např. ve Žďárských vrších a v mezipovodí nad Dvorci) zhruba na 37 %. V některých pahorkatinných povodích (např. v povodí Balinky a Bystřice) klesá i mírně pod 30 % (28—29 %).

Průměrný specifický podzemní odtok se na území složeném z krystalických břidlic zvětšuje se vzrůstající nadmořskou výškou. Největší je v horských částech povodí (pramenná oblast Moravy a Desné), kde je blízký 7—8 l/s. km². S postupným přechodem do vrchovin a pahorkatin v podhůří vysokých sudetských pohoří se dosti rychle snižuje na hodnoty blízké 3 l/s. km², v mezipovodí nad Moravičany dosahuje 2,6 l/s. km². Na Českomoravské vrchovině je průměrný specifický podzemní odtok největší ve Žďárských vrších (přibližně 4 l/s. km², v pramenné oblasti řeky Jihlavy je blízký 3 l/s. km² a směrem do níže položených pahorkatinných povodí klesá až na hodnoty kolem 2 l/s. km². S poměrně nízkými hodnotami průměrného specifického podzemního odtoku zřetelně kontrastují údaje o podzemním odtoku v povodí Svitavy, kde nad Rozhráním vzrůstá jeho hodnota na 5,4 l/s. km². Příčina tkví ve velkých zásobách podzemních vod ve svrchnokřídových horninách, jak již bylo uvedeno.

4.3 Časové změny podzemního odtoku

U časových změn jsme se zaměřili na rozdělení podzemního odtoku v průměrném hydrologickém roce období 1961(2) — 1970. Vycházeli jsme z hodnot získaných genetickým rozčleněním hydrogramů, neboť jedině tento postup umožnil spojité odvození podzemního odtoku v průběhu hydrologického roku.

Průměrné roční rozdělení podzemního odtoku mělo ve zmíněném období v základních rysech obdobný průběh jako celkový odtok. Potvrdil se známý předpoklad o větší vyrovnanosti podzemní složky říčního odtoku a o zpožďování jejího maxima za maximem odtoku celkového (resp. povrchového). Ve vrchovinných a pahorkatinných povodích složených převážně ze slabě propustných krystalických hornin, se nejvyšší průměrné měsíční hodnoty podzemního odtoku vyskytovaly v dubnu. V hornatých povodích (Morava nad Raškovem, Desná nad Šumperkem) se toto maximum posouvá do května. Je to především důsledek pozdějšího tání sněhové pokrývky a pozdějšího rozmrzání půdních vrstev. Ve Žďárských vrších se maximální průměrný podzemní odtok

dělí zhruba stejným dílem na duben a květen. Podobně je tomu i v povodí Svitavy. Zde je však odlišný režim podzemního odtoku podmíněn specifickými hydrogeologickými poměry.

K nejvýraznějšímu poklesu podzemního odtoku v průměrném roce studovaného období docházelo obvykle koncem léta a na začátku podzimu (srpen, září). V dalších měsících následovalo zpravidla mírné oživení podzemního odtoku, někdy se zcela podružnými poklesy v prosinci nebo lednu. V únoru a hlavně v březnu nastávalo zřetelné zvyšování podzemního odtoku, které vrcholilo, jak již bylo uvedeno, v dubnu a květnu. V nejhořejší části povodí Moravy a v horních částech povodí Desné se vlivem drsnějšího klimatu udržovaly velmi nízké hodnoty podzemního odtoku po celý podzim a měly poklesovou tendenci i v zimě až do února.

Průměrný pokles podzemního odtoku během vegetačního období byl ve většině povodí poměrně rychlý, což odpovídá celkově velmi malým zásobám podzemních vod v těchto povodích a značné proměnlivosti jejich režimu. Výjimkou je povodí Svitavy, zejména nad Rozhráním, kde je vlivem velkých zásob podzemních vod pokles podzemního odtoku od dubna a května mnohem pomalejší (podle průměrných hodnot), což se odráží i v mnohem vyrovnanějším odtokovém režimu řeky Svitavy.

5. ZHODNOCENÍ DOSAVADNÍCH VÝSLEDKŮ A JEJICH POROVNÁNÍ S ÚDAJI JINÝCH AUTORŮ

Z kapitoly 4 je zřejmé, že jsme přisoudili největší váhu hodnotám, jež byly určeny podle 4. metody. Jsou to poněkud upravené, redukované hodnoty podzemního odtoku, které mají svůj původ v rozsáhlých souborech průměrných denních průtoků.

Zdůrazňujeme, že ve všech případech jde o hodnoty přibližné, zahrnující i některé nepřesnosti, jež mohou být buď subjektivní povahy nebo mohou mít řadu jiných příčin. Podotýkáme, že jsme při kvantitativním hodnocení podzemního odtoku nevzali v úvahu odběry podzemní vody v jednotlivých povodích, jako např. v povodí Svitavy, kde se během sledovaného období odebíralo zhruba 300 l/s pro 1. brněnský vodovod. V této fázi výzkumu šlo o zachycení stavu tak, jak vyplynul z analýzy dat o průtocích. Nejde o konečné výsledky, ale o údaje, které bude třeba ověřit pomocí dalších výzkumných metod. To se týká i časových změn podzemního odtoku.

Při analýze hydrogramů se potvrdila již dříve známá zkušenost (viz např. L. Skibniewski, 1959), že metodu genetického členění hydrogramu lze těžko aplikovat tam, kde mají řeky větší průtočná množství a komplikovaný režim. Jako příklad z našeho území může sloužit vodoměrná stanice Moravičany, kde jsme analýzou hydrogramů nedospěli k přiměřeně jednoznačným výsledkům. Proto jsme v tomto případě vyšli z průměrného podzemního odtoku stanoveného metodou K. Killeho a příslušnou redukovanou hodnotu průměrného podzemního odtoku jsme určili extrapolací přímky na obr. 6.

Naše výsledky jsme porovnali s údaji, k nimž v rámci státního výzkumného úkolu P-331-065/55 (M. Kněžek, 1974) dospěl metodou K. Killeho M. Olmer (1974). Z tabulky 5 je zřejmé, že porovnávané hodnoty jsou si většinou blízké.

Porovnání je poněkud ztížené tím, že porovnávané údaje pocházejí z různých období (hodnoty M. Olmera z období 1956—1968, naše 1961(2)—1970). Námi udávané hodnoty jsou celkově poněkud nižší. Významnější rozdíly jsou jen v Rozhrání a Lupěném. Rozdíl v Rozhrání je pravděpodobně ovlivněn i tím, že v námi uváděném podzemním odtoku není zahrnut odběr vody 1. brněnským vodovodem.

Tab. 5. Porovnání průměrného specifického podzemního odtoku (v l/s . km²)

Vodoměrná stanice	M. Olmer (podle K. Killeho)	Č. Brázda	
		(podle K. Killeho)	(redukované hodnoty)
Ptáčov	2,7	2,3	2,3
D. Loučky	2,3	2,1	1,9
Rozhrání	6,9	5,8	5,4
Lupěné	4,4	3,6	3,4
Moravičany	5,4	5,1	4,7
Loštice	2,4	2,6	2,2

Podle M. Kněžka, M. Olmera (1974) je možno podle poměru průměrného podzemního odtoku ($\bar{Q}_{pz}$) k dlouhodobému průměrnému průtoku (normálu Q_a) vyjádřeného v procentech, rozdělit povodí do pěti stupňů, jak plyne z tabulky 6. Vyjdeme-li z této tabulky, můžeme většinu studovaných povodí řadit k hydro-

Tab. 6. Klasifikace povodí

$\bar{Q}_{pz} : Q_a$	Stupeň
< 35 %	1
35—45 %	2
45—55 %	3
55—65 %	4
> 65 %	5

geologicky málo příznivým oblastem ($\bar{Q}_{pz} : Q_a$ < 40 %). K vysoce aktivním oblastem (stupeň 5) patří povodí Svitavy s vyloučením Křetínky (tabulka 7).

Z dalších autorů je možno citovat O. Hynieho (1961) a H. Kříže (1975), kteří se zabývali odtokem podzemních vod v povodí Svitavy v souvislosti s výpočty zásob podzemních vod pro brněnský vodovod. Vycházeli z tzv. praktického minima, tj. z průměrného specifického odtoku 355 denní vody. Podle O. Hynieho tato hodnota, za předpokladu, že rozloha infiltračního území je 250 km², dosahuje přibližně 4,3 l/s. km². H. Kříž dospěl k závěru, že jímatelné množství vody v hydrogeologickém povodí o ploše 250—264 km² dosahuje 1 040 až 1 080 l/s včetně odběru 1. brněnským vodovodem. Tomuto množství odpovídá průměrný specifický odtok zhruba 4,1 až 4,2 l/s. km². Přepočteme-li námi zjištěné hodnoty podzemního odtoku v Rozhrání na výše uvedenou infiltrační plochu, obdržíme průměrný specifický podzemní odtok 4,6 až 4,8 l/s. km², který je v poměrně dobrém souladu s údaji H. Kříže.

Tab. 7. Zařazení povodí a mezipovodí do stupňů do stupňů podle $Q_{pz} : Q_a$

Vodoměrná stanice	Q_{pz}	Q_a	%	Stupeň
Batelov	0,23	0,60	38,3	2
Dvorce — mezipovodí	0,61	1,37	44,5	2
Brtnice	0,20	0,56	35,7	(1)—2
Ptáčov — mezipovodí	1,18	3,03	38,9	2
D. Bory	0,52	1,42	36,6	2
Baliny	0,29	0,85	34,1	1
Borovnice	0,56	1,53	36,6	2
Dalečín — mezipovodí	0,59	1,78	33,1	1
Domanín	0,05	0,16	31,3	1
D. Loučky	0,75	2,09	35,8	(1)—2
Rozhrání	1,51*	1,56*	96,8	5
Křetínka	0,21	0,65	32,3	1
Letovice — mezipovodí	0,20	0,23	86,9	5
Raškov	2,72	5,89	46,2	2
Šumperk	1,70	3,95	43,0	2
Lupěné	1,52	4,26	35,7	(1)—2
Moravičany — mezipovodí	0,81	3,00	27,0	I
Loštice	1,26	2,35	53,6	3

* Hodnoty zvýšeny o 0,3 m³/s.

6. PODZEMNÍ ODTOK A CELKOVÝ OBĚH VODY V POVODÍ

Vyjdeme-li ze zjednodušujícího předpokladu, že zjištěné hodnoty podzemního odtoku se příliš neliší od dlouhodobých průměrů a zanedbáme-li poměrně malý plošný rozsah studovaných povodí, můžeme použít k orientačnímu vyjádření vodní bilance Brücknerovu rovnici upravenou M. I. Lvovičem (1950):

$$S = O_{pov} + O_{pz} + V, \tag{2}$$

kde S = průměrný srážkový úhrn (normál)
O_{pov} = průměrný povrchový odtok
O_{pz} = průměrný podzemní odtok
V = úhrnný výpar

Číselné vyjádření jednotlivých členů bilanční rovnice odvozené podle našich propočtů a podle Hydrologických poměrů ČSSR (1970) uvádíme v tabulce 8. Při odhadu vodní bilance v povodí Svitavy jsme k podzemnímu odtoku připočetli odběr 1. brněnským vodovodem, tj. průměrně 300 l/s (srov. O. Hynie, 1961, H. Kříž, 1975). Znovu podotýkáme, že jde o hodnoty odvozené za zjednodušujících předpokladů a proto jim nelze přikládat jiný význam než informativní, případně srovnávací.

V tabulce 8 je uveden i tzv. koeficient podzemního odtoku (podle B. I. Kudělina in V. M. Maximov a kol., 1967), který se vypočte podle vzorce

$$K = \frac{Q_{pz}}{S} . 100\ (\%). \tag{3}$$

Tab. 8. Bilance oběhu vody (v mm) a koeficient podzemního odtoku (K v %)

Vodoměrná stanice	S	O_{pz}	O_{pov}	V	K (%)
Dvorce — Jihlava	675	86	116	473	12,7
Ptáčov — Jihlava	630	73	109	448	11,6
D. Bory — Oslava	655	77	131	447	11,8
Dalešín — Svratka	700	99	185	416	14,1
D. Loučky — Loučka	630	61	110	459	9,7
Rozhrání — Svitava	657	213	7	437	32,4
Letovice — Svitava	641	122	39	480	19,0
Raškov — Morava	958	245	286	427	25,6
Šumperk — Morava	970	222	293	455	22,9
Lupěné — M. Sázava	746	108	194	444	14,5
Moravičany — Morava	825	137	208	480	16,6
Loštice — Třebůvka	629	70	59	500	11,1

Tento koeficient je ukazatelem podílu srážek na napájení řek podzemní cestou. Největší je v povodí Svitavy (zhruba 32 %) a v povodích s převážně horským charakterem reliéfu. Na Českomoravské vrchovině je blízký 10—12 %, v jejích vrcholových částech je poněkud vyšší (13—14 %).

7. PODZEMNÍ ODTOK A m-DENNÍ PRŮTOKY

Většina metod určování podzemní složky říčního odtoku je dosti pracná a zdlouhavá. Proto bývá při přibližných řešeních ztotožňován podzemní odtok buď s minimálními průtoky anebo se statisticky odvozeným průtokem překročeným průměrně 355 dní v roce. (Q_{355}). Podle našich dosavadních poznatků jsou průměrnému podzemnímu odtoku nejbližší průtoky průměrně překročené 270 až 300 dní v roce (tabulka 9).

Tab. 9. Porovnání Q_{pz} s *m*-denními průtoky (m³/s). Období 1961—1970

Vodoměrná stanice	Q_{pz}	*m* — denní průtoky				
		240 dní	270 dní	300 dní	330 dní	355 dní
Batelov	0,23	0,32	0,26	0,22	0,17	0,13
Dvorce	0,84	1,10	0,92	0,76	0,55	0,44
D. Bory	0,52	0,62	0,50	0,37	0,29	0,19
Borovnice	0,56	0,70	0,57	0,41	0,29	0,20
Dalečín	1,15	1,50	1,25	0,88	0,60	0,42
Domanín	0,05	0,06	0,05	0,04	0,02	0,01
D. Loučky	0,75	1,00	0,84	0,67	0,50	0,36
Rozhrání	1,21	1,34	1,24	1,11	0,97	0,81
L.-Křetínka	0,21	0,31	0,26	0,20	0,15	0,07
Letovice-S.	1,62	1,95	1,82	1,65	1,45	1,18

8. ZÁVĚR

V práci jsou shrnuty hlavní výsledky výzkumu podzemního odtoku ve vybraných dílčích povodích řeky Moravy. Výzkumné práce byly zaměřeny především k ověření a celkovému zhodnocení některých hydrologických metod určování podzemní složky říčního odtoku a ke stanovení kvalitativních a kvantitativních charakteristik podzemního odtoku a k jejich posouzení z komplexního hlediska.

Za základní pracovní metodu bylo zvoleno genetické rozčlenění hydrogramu na povrchovou a podzemní složku říčního odtoku. Výsledné průměrné hodnoty vztahující se k období 1961 (2)—1970 byly porovnány s hodnotami získanými pomocí metody K. Killeho (1970) a s údaji odhadnutými pomocí „rychlé metody" G. Castanyho (1970). Z porovnání vyplynulo, že hodnoty stanovené podle metody K. Killeho se příliš neliší od hodnot určených separací hydrogramů a v některých případech byly prakticky shodné. Tzv. „rychlá metoda" G. Castanyho poskytla ve většině případů výrazně nižší hodnoty a rozdíly vzhledem k hodnotám určeným separací hydrogramů byly nevyrovnané.

Dále byly odvozeny tzv. redukované hodnoty podzemního odtoku. Postup zvolený k redukci měsíčních hodnot podzemního odtoku, určených genetickým rozčleněním hydrogramů, odpovídá v principu metodě K. Killeho. Hlavním cílem redukce bylo vyloučit ze souboru měsíčních hodnot podzemního odtoku málo pravděpodobné extrémní hodnoty. Bylo zjištěno, že mezi pracně a zdlouhavě určenými redukovanými průměrnými hodnotami podzemního odtoku a průměrnými hodnotami stanovenými méně pracnou metodou K. Killeho existuje těsný vztah, který je možno vyjádřit rovnicí přímky

$$x = 0{,}925y, \tag{4}$$

kde x = redukovaný průměrný podzemní odtok [m³/s]
y = průměrný podzemní odtok [m³/s] podle metody K. Killeho.

Uvedený vztah nelze zevšeobecnit a bude nutno jej ověřit na větším počtu případů a zejména na větších tocích.

Kvantitativní charakteristiky podzemního odtoku jsou sestaveny do tabulek 3—5. Stručně je možno shrnout, že na území složeném ze slabě propustných krystalických hornin se podzemní odtok zvětšuje se vzrůstající nadmořskou výškou. Největší je v horských částech studovaného území (pramenná oblast Moravy a Desné), kde je blízký hodnotám 7—8 l/s. km². S postupným přechodem do vrchovin a pahorkatin se dosti rychle zmenšuje. Na Českomoravské vrchovině je průměrný specifický podzemní odtok největší ve Žďárských vrších (přibližně 4 l/s. km²), v pramenné oblasti Jihlavy je blízký 3 l/s. km²) a směrem do níže položených pahorkatinných povodí klesá až na hodnoty okolo 2 l/s. km². S poměrně nízkými hodnotami průměrného specifického odtoku pahorkatin ostře kontrastuje povodí Svitavy, kde nad Rozhráním vzrůstá průměrný specifický podzemní odtok na 5,4 l/s. km². Relativně vysoký podzemní odtok v této oblasti je podmíněn zcela odlišnými hydrogeologickými poměry v porovnání s jinými povodími, složenými většinou z krystalických hornin nebo z málo propustných sedimentů. Do povodí Svitavy zasahují

svrchnokřídové horniny ústecké synklinály s velkými zásobami podzemní vody a s četnými vydatnými prameny a pramenními skupinami.

V dalších částech práce je věnována pozornost časovým změnám podzemního odtoku, celkové bilanci vody v jednotlivých povodích a redukované průměrné hodnoty podzemního odtoku jsou porovnány s průměrnými *m*-denními průtoky za desetiletí 1961—1970. Z porovnání vyplynulo, že zjištěné redukované hodnoty podzemního odtoku jsou velmi blízké průtokům překročeným průměrně 270 až 300 dnů v roce.

Podzemní odtok je součástí dynamického procesu celkového odtoku, jehož jednotlivé fáze na sebe plynule navazují. Hranice, které klademe mezi tyto jednotlivé fáze odtoku, jsou mnohdy umělé a v přírodě těžko postižitelné. Použitá metodika umožňuje zjišťovat tyto hranice, resp. hranice mezi povrchovým a podzemním odtokem, jen přibližně a je třeba přiznat, že v některých případech i s většími či menšími chybami, jež mohou mít různé příčiny. Z nich považujeme za nejdůležitější těžko rozpoznatelné vlivy přirozené nebo umělé retence povodí, která nemá nic společného s podzemními vodami, avšak v odtokovém režimu se může podobně projevit a zkreslit výsledné hodnoty. Proto pohlížíme na dosažené výsledky kriticky a snažíme se je dávat do souladu s fyzickogeografickými a zejména hydrogeologickými poměry jednotlivých povodí.

Při hodnocení kvantitativních ukazatelů podzemního odtoku je třeba vzít v úvahu, že podzemní složka říčního odtoku podléhá časovým změnám a její velikost je závislá i na celkové vodnosti řeky ve studovaném období. Námi zvolené období 1961 (2)—1970 nebylo odtokově zcela reprezentativní. Převládaly v něm (podle odtokových poměrů ve většině povodí) roky vodné nad suchými a to se mohlo projevit tím, že dosažené výsledky mohly být v některých případech poněkud ovlivněny směrem k vyšším hodnotám.

9. LITERATURA

Bogoljubov S. N., Bogomazova Ž. P. (1955): Vertikalnaja zonalnosť podzemnych vod kak osnovnoj faktor formirovanija stoka. Metěorologija i gidrologija, č. 6. Moskva.

Brázda Č. (1972): Podzemní vody v horní části povodí Jihlavy a jejich podíl na celkovém říčním odtoku. Folia fac. sci. nat. UP. Geographia, seš. 2, Brno.

Brázda Č. (1976): Podzemní odtok ve vybraných dílčích povodích řeky Moravy. Závěr. zpráva o výzkumném úkolu II-7-2/14-4. Katedra geografie. Brno.

Castany G. a kol. (1970): Evaluation rapide des ressources en eaux d'une region. Colloque International sur les eaux souterraines, Palermo.

Čebotarev A. I. (1960): Obščaja gidrologija. Leningrad.

Dub O., Němec J. (1969): Hydrologie. Techn. průvodce 34. Praha.

Herber V. (1976): Podzemní odtok v povodí Svratky po Veverskou Bitýšku. Kat. geografie UJEP. Diplomová práce. Brno.

Hynie O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I, Praha.

Kille K. (1970): Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. Zeitschrift d. Deutsch. geol. Gesselschaft. Sonderheft. Hanover.

Kliner K. (1969): Příspěvek k problematice stanovení odtoku podzemních vod Geologický průzkum, čís. 3. Praha.

Kněžek M. (1974): Výzkum metod členění složky podzemních vod v povrchovém odtoku. Zpráva o stát. výzk. úkolu P 16-331-066/05. VÚVH. Praha.

Kolektiv (1960): Podnebí ČSSR (tabulky + atlas) HMÚ. Praha.

Kolektiv (1963): Geologická mapa ČSSR, listy Jihlava a Č. Třebová. ÚGÚ. Praha.
Kolektiv (1965, 1967 a 1970): Hydrologické poměry ČSSR, I—III. díl. HMÚ. Praha.
Kříž H. (1973): Hydrogeologie jižní části ústecké synklinály. Sbor. geol. věd, HIG. Praha.
Lillich W. (1970): Vergleich moderner Methoden zur Bestimmung des Grundwasseranteils am Gesamtabfluß. Sonderheft. Zeitschrift d. Geol. Gesellschaft. Hanover.
Matoušek A. (1964): Zdroje podzemní vody a hlavní rysy jejich režimu v horní části povodí Jihlavy po Batelov. Kat. geografie. Diplomová práce. Brno.
Maximov V. M. a kol. (1967): Spravočnoje rukovodstvo gidrogeologa. Sv. 1, Leningrad.
Olmer M. (1974): Podzemní odtok v povodí Labe, Odry a Moravy. Záv. zpráva o stát. úkolu P-16-331-066/05! VÚVH. Praha.
Skibniewski L. (1959): Podzial odplyvu Wisly na powierzchniovy i gruntovy w okresie 1960—1954. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej. Seš. 2. Warszawa.
Šimo E.—Drobilová L. (1956): Podiel podzemných vôd na celkovom odtoku Váhu v období 1931—1940. Vodohospodársky časopis, čís. 1 a 2, Bratislava.
Vážan T. (1975): Podíl podzemních vod na celkovém říčním odtoku v povodích východní části Sudetské soustavy. Katedra geografie. Diplomová práce. Brno.
Ven Te Chow (1964): Handbook of Applied Hydrology. New York. 1969.
Volfcun I. F. (1972): Rasčoty elementov balansa gruntovych vod. Gidrometeoizdat. Leningrad.

OBSAH — СОДЕРЖАНИЕ — CONTENTS

Brázdil R.: Zimní zvýšení srážek na území ČSSR 9

Kolář M.: Příspěvek k analýze denních úhrnů srážek v měsíci březnu na území ČSSR (1901—1970) 43

Brázda Č.: Podzemní odtok ve vybraných dílčích povodích řeky Moravy 73

PŘÍSPĚVKY K ČASOVÝM A PROSTOROVÝM ZMĚNÁM HYDROMETEOROLOGICKÝCH JEVŮ NA ÚZEMÍ ČESKOSLOVENSKÉ SOCIALISTICKÉ REPUBLIKY

Vydala Univerzita J. E. Purkyně v Brně — přírodovědecká fakulta
Vedoucí redakce: prof. dr. Jindřich Štelcl, DrSc.
Technický redaktor: František Herman

Z nové sazby písmem Extended vytiskl TISK, knižní výroba, n. p., Brno, závod 1
Návrh obálky: Pravoslav Hauser
Formát papíru 70 × 100 cm — AA 8,53 — VA 8,73

Tematická skupina a podskupina 02/58
Náklad 500 výtisků — Vydání 1.

Cena brožovaného výtisku Kčs 12,00-I

55-960-78