

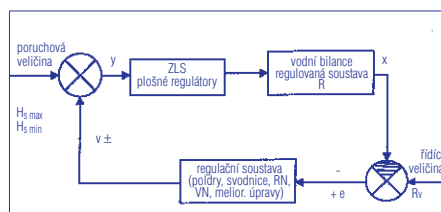
Lesy jako plošný regulátor vodní bilance hydrologického obvodu

Karel Kudrna, Marie Šindelářová

V souvislosti s řešením problému hydrogeomorfologie krajinného prostoru a s tím spojeným stanovením jeho optimální struktury se prokázal jako klíčový faktor vývoje sledovaného území poměr jednotlivých složek vodní bilance.

Geologické a hydrogeologické analýzy, jakož i studium orogenního vývoje povodí Malše, horní Lužnice a jiných toků prokázaly, že všechny změny v orogenním vývoji vedly vždy k razantní změně vodního režimu a v závislosti na tom ke změnám všech rostlinných společenstev.

Abychom poznali vztahy mezi jednotlivými prvky krajinného prostoru a složkami jeho vodní bilance, definovali jsme je jako složitou dynamickou soustavu se všemi atributy tohoto pojmu a jako takovou ji řešili. Systémové analýzy, realizované na povodích šumavského regionu – Volyňce a Blаницi – nebo na povodích toků kladenského regionu jako oblasti s nízkými srážkami, pak prokázaly neobyčejnou úlohu lesů jako regulátorů všech složek vodní bilance – srážek (hs), evapotranspirace (hsev), odtoku (hso) a podzemních vod (hsp).



Obr. 1: Blokové schéma hydrologického obvodu.

řili blokovým schématem (obr. 1), kde poruchové veličiny jsou maximální nebo minimální srážky (hs max, min).

Hydrologický obvod je v tomto smyslu zpětnovazebním obvodem, tj. veličina „x“ vodní bilance ovlivněná ZLS působí prostřednictvím R zpět na vstup soustavy $\pm v$, tedy na vodní bilanci. ZLS má v hydrologickém obvodu klíčové postavení jako akční veličina – plošný regulátor vodní bilance, který determinuje i úlohu řídicí veličiny a celé regulační soustavy. Ze schématu pak vyplývá, že působení akční a řídicí veličiny musí být počítáno ve všech složkách vodní bilance buď v absolutních hodnotách, nebo odchylkách od dlouhodobých průměrů nebo ustálených stavů. Avšak akční i řídicí veličina musí působit vždy tak, aby změna regulované veličiny – tedy odchylka vyvolaná různými poruchami – se zmenšovala.

Uvážíme-li nyní složku ZLS, pak les působí jako atraktor i jako repulsor – ve velkém množství a nejrychleji vodu přijímá, transformuje a také spotřebovává. Je proto progresivním faktorem krajinného prostoru. Z termodynamického hlediska přitom vykonává práci, akumuluje organickou hmotu. V tom všem spočívá jeho jedinečná úloha jako plošného regulátoru všech složek vodní bilance.

Při řešení četných hydrologických a zejména vodohospodářských úloh se zpravidla soustřeďujeme na odtokovou složku. Avšak, jak vyplývá ze schématu, je nutno sledovat všechny složky, a to již také proto, že teprve jejich poměr a jejich vzájemné vztahy charakterizují hydrologický stav daného povodí. Problému působení lesa na jednotlivé složky vodní bilance se věno-

lo nemálo našich i zahraničních autorů. Připomínáme např. práce Krečmerovy, Běleho, Zeleného (KREČMER, BĚLE 1975; ZELENÝ 1972). Zde je zvláště důležité poznání Krečmerovo a Běleho (1975), kteří zjistili, že pokles zakmenění o 10 % odpovídá v průměru snížení výparu o 5 % a rovněž zvýšení odtoku o 5 %. Vodní bilanci pak věnovali pozornost AMBROS (1978), VODOGRECKIJ (1974), ŠVIHLA (1990) aj.

Porovnání vodní bilance na různých povodích

Abychom stanovili možnost charakterizovat krajinný prostor podle vodní bilance, porovnali jsme vodní bilanci na třech povodích v průběhu 10 roků.

	Volyňka (426,53 km ²)	Malše (979,1 km ²)	Kladenský region (952 km ²)
hs [mm]	745,6	645,1	517,0
hsev [%]	61,4	63,37	71,36
hso [%]	34,22	32,29	13,78
hsp [%]	4,37	4,33	14,86
Hk hs/t °C	107,92	85,4	62,43

Z tabulky jsou patrné enormní rozdíly ve složkách vodní bilance. Podstatné je však to, že v oblasti s malým množstvím srážek je o 10 % vyšší výpar, ale téměř zcela vyrovnaný poměr hso : hsp, kde dokonce hsp převyšují odtokovou složku. Mimořádný rozdíl těchto dvou složek na Volyňce a Malši a vyrovnaný poměr v kladenském regionu nás vedl k myšlence vyhodnocení podmínek rovnovážné bilance i na Volyňce, která je dána poměrem hso : hsp. Hydrogeomorfologická analýza prokázala, že všechny toky kladenského regionu jsou syceny z primární zóny sycení na rozvodnici Ohře - Berounka, Gh Džbán 538 a Loustín 537 ve zcela zalesněné Rakovnické pahorkatině. Loděnický potok ústí do Berounky, Zákolanský a Bakovský do Vltavy. Diference ve prospěch odtoku činí na Bakovském potoce + 3,29 % a Zákolanském + 4,94 %, avšak na Loděnic-

Úloha lesa v hydrologickém obvodu

Řešení úlohy lesů opíráme o koncepci hydrologického obvodu, který jsme vyjád-

hsev - evapotranspirace

hso - odtok

hsp - podzemní vody

hs - srážky

hs max, hs min - maximální, minimální srážky

y - akční veličina představovaná zemědělskou a lesní soustavou (ZLS)

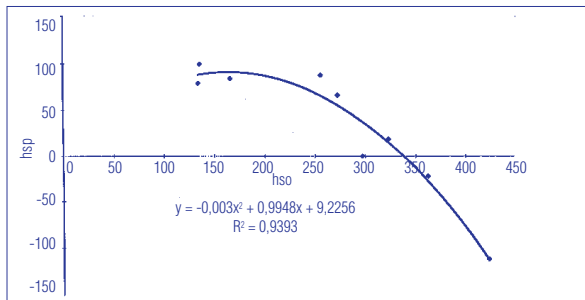
R - regulovaná soustava (vodní bilance)

x - veličina hs, která je výsledkem vlivu ZLS na složky vodní bilance

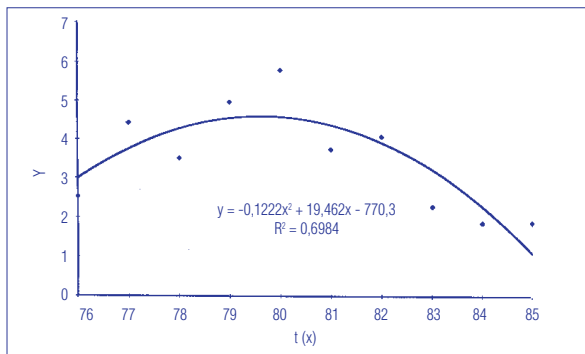
Rv - řídicí veličina, jež vyhodnocuje vliv řídicích a regulačních prvků regulační soustavy R na jednotlivé složky vodní bilance (podle toho se stanoví velikost odchylky ve sčítacím členu a pak i potřebná zařízení regulační - svodnice, poldry, rybníční a vodní nádrže, další zalesnění apod.)

e = Rv - x, regulační odchylka, která musí být zregulována (žádaná veličina)

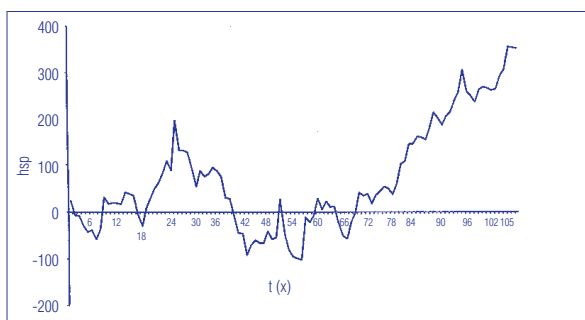
Sčítací (směšovací) člen hydrologického obvodu vyjadřuje srovnání hodnot regulované veličiny s veličinou řídicí Rv. Proto $Rv - x = e$, přičemž začerněná ploška označuje odečtenou hodnotu, která vznikla již působením současných plošných regulátorů ZLS.



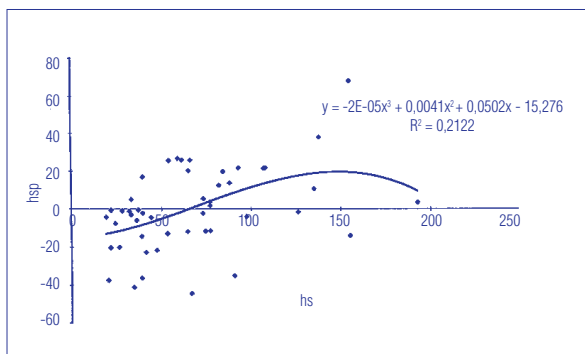
Obr. 2: Závislost hsp na hso, Volyňka.



Obr. 3: Průtok q $m^3.s^{-1}$ na vodočtu v Němčicích 1976–1985, Volyňka.



Obr. 4: Změna objemu podzemních vod za 110 měsíců v letech 1976–1985, Volyňka.



Obr. 5: Průběh změn hsp v závislosti na hs ve srážkově nadnormálních letech, Volyňka.

kém – 1,6 %. Příčinu spatřujeme v tom, že Loděnický protéká od vývěru až k ústí lesními masivy. Uvážíme-li pak všechny toky jako průměr, pak v porovnání s tímto průměrem vykazuje Volyňka hso o 20,43 % vyšší a hsp o 10,5 % nižší. Podobně je tomu na Malši: + 18,51 % a - 10,53 %. Příčina tohoto stavu v kladenském regionu spočívá v tom, že Zákolský i Bakovský potok protékají mocnými sprašovými a aluviálními vrstvami, které jsou s to zadržet vodu a udržet hladinu podzemních vod a stabilizovat ji tak, že vliv uvedených geomorfologických útvarů Gh 538 a 537 dosahuje hla-

dinou hlubinných vod až k Vltavě. Naproti tomu poměr hso : hsp na Loděnickém potoce vyrovnávají lesy. Proto jsme situaci na obou tocích rovněž řešili návrhem lesních pásem.

Abychom poznali příčiny tohoto mimořádného porušení vodní bilance na povodí Volyňky, provedli jsme statistické analýzy jednotlivých složek vodní bilance.

Rychlý pokles hsp s odtokem při indexu spolehlivosti R^2 93,9 % charakterizuje nepříznivý stav na ploše povodí, které není s to vytvořit zásobu podzemních vod, podílejících se na průtoku Volyňky při ustáleném současném stavu pouze $1,0 m^3.s^{-1}$.

Závislost průtoku q $m^3.s^{-1}$ na vodočtu v ústí Volyňky na součtové čáře objemu podzemních vod vypočítané pro 110 měsíců jsme vyjádřili na obr. 3 a 4.

Potvrzuje se tedy, že s klesajícím průtokem (odtokem) se plnila zvodněň.

Druhou významnou charakteristikou je závislost hsp na hs v průběhu sledovaných 110 měsíců. Stanovili jsme ji ve srážkově nadnormálních a podnormálních letech.

Přestože jsme v prvním případě nedostali tak významný vztah, v druhém činí R^2 72,2 %. Ukazuje se však, že v nadnormálních letech hsp v závislosti na hs limituje při 150 mm hs. Proto ostatní srážky přecházejí do odtoku. V podnormálních letech hsp podle polynomu 3. st. roste. Z grafů je patrné, že ve srážkově nadnormálních letech povodí není s to srážky zachytit a zvodněň se plní jen při podnormálních srážkách.

To potvrzuje i další graf obr. 7 a 8.

Přestože můžeme uvažovat jen o trendu, protože je zde značný rozptyl, závislost je zcela jasná. Trend je vzhledem k předchozím grafům obrácený. V nadnormálních letech hso s hs rychle roste podle polynomu 3. st., v podnormálních limituje při 150 mm hs. Analýza uvedených vztahů přesvědčivě charakterizuje poměry ve vodní bilanci povodí Volyňky. Menší srážky a jejich rovnoměrné rozdělení sytí hsp a omezuje odtok. Proto pokles měsíčních srážek v posledních čtyřech letech sledovaného období – z průměru 61,54 mm na 56,83 mm způsobil, že poklesl odtok a vyrovnal se objem podzemních vod (obr. 2).

Cílem regulační soustavy v hydrologickém obvodu je dosáhnout rovnovážného stavu vodní bilance ve složkách „zdroj - spotřebitel“, tedy hsp : hso, které obvod regulují.

Vyrovnali jsme tedy stav těchto dvou veličin pro průměrné hodnoty vodní bilance:

	mm	%	rovnovážný stav	
hs	745,6	100		
hsev	457,8	61,4		
hso	255,3	34,22	144 mm	19,31 %
hsp	32,6	4,37	144 mm	19,31 %

Odtok hso 144 mm 61 420 320 m^3 odpovídá q 1,947 $m^3.s^{-1}$, tedy zaokrouhleně 1,95 $m^3.s^{-1}$, na který se upraví při rovnovážném stavu. Za poslední 3 roky sledovaného období činil 1,99 $m^3.s^{-1}$.

Protože hodnota průtoku při naplnění zvodně 150 mm činí 2,028 $m^3.s^{-1}$ a při rovnovážném stavu 1,95 $m^3.s^{-1}$ (1,989 $m^3.s^{-1}$) a skutečný průtok na vodočtu 1,99 $m^3.s^{-1}$, pak rovnovážný stav vodní bilance je charakterizován tímto průtokem a poměrem hso : hsp 144 mm: 144 mm, přičemž hso = f(hsp). Za těchto podmínek je vodní bilance stabilní.

V souvislosti s tím vzniká problém dosažení tohoto stavu. Vyjdeme-li z uvedeného blokového schématu hydrologického obvodu, pro současnou vodní bilanci dostaneme:

Řídicí veličina musí být projektována tak, aby odtok byl snížen o 111,4 mm a odchylka od tohoto stavu se blížila nule. Takovou regulační soustavou je unitární soustava zemědělského, lesního a vodního hospodářství (USZLVH), která obsahuje prvky, které jsou schopny vodní bilanci vyrovnat. V ní jsou lesy, z hlediska systémové teorie, jak

jíž jsme uvedli, progresivním prvkem, protože nejrychleji vodu přijímají a nejrychleji ji vydávají. Jejich postavení v regulační soustavě je jedinečné a nenahraditelné. Proto jejich plocha, rozložení v krajinném prostoru, vnitřní struktura, tvar lesa – musí být přesně stanoveny a jejich vliv na vodní bilanci vypočítán jednak jako akční člen, jednak jako řídicí veličina spolu s ostatními regulačními prvky. Za takových okolností ve směšovacím členu obvodu nastane situace, že odchylka $e = 0$. Plošné regulátory – lesy spolu se zemědělskou soustavou a poldry či svodnicemi – musí v případě vyrovnání vodní bilance na povodí převést do podzemních vod 111,4 mm, tj. 47 515 442 m³, což představuje nádrž o 10 mil. m³ větší než je vodní nádrž Římov.

Z uvedeného plyne nenahraditelná funkce lesa: začíná intercepcí v korunách stromů, která rozptýluje srážky a přivádí do infiltrace v surové humózní hmotě na povrchu půdy, zpožďuje odtok, soustavně vytváří evapotranspiraci velkou kapacitu zvodně, aby mohla přijmout další vodu ze srážek nebo vodu přicházející podzemním tokem. Stejnou měrou se celkový výpar podílí na uvolňování vody pod vývěrem podzemních vod a umožňuje další přítok vody, neboť jinak by na mnoha místech docházelo k zamokření. Jde tudíž o dynamickou stabilitu vodní bilance, kterou lesy vytvářejí. Na uvedených principech jsme se pak pokusili dát odpověď na otázku:

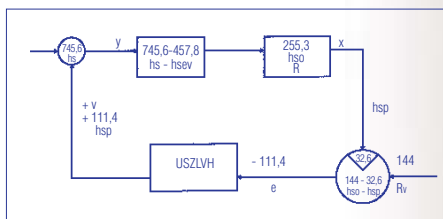
Proč dochází na povodí Volyňky k porušení rovnováhy vodní bilance?

- Analýza zalesnění prokázala, že lesy zde netvoří souvislé komplexy. Po staletí byly odlesňovány značné části povodí a dnes se namnoze jeví jako rozptýlené „útržky“ lesů, a proto ztrácejí regulační úlohu v hydrologickém obvodu i přes značnou kapacitu zvodně, která činí 40 % ročních srážek.

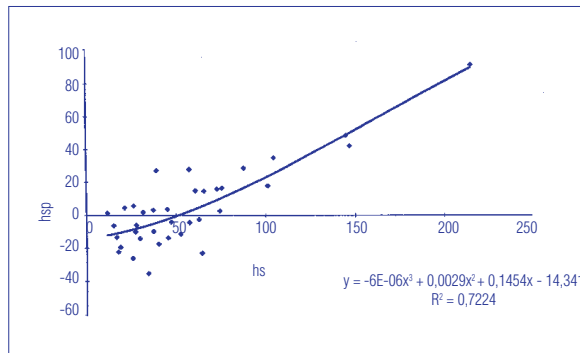
- Rozvodnice ve většině případů nejsou kryty lesními porosty stejně jako hydrologicky citlivé části geomorfologických útvarů – zóny primárního sycení a mnohdy další zóny, které byly v historickém vývoji povodí odlesněny, takže dnes zůstaly erozní hřebeny, které mění hydrologickou bilanci ve prospěch odtoku, přestože byla zatravněním eroze zastavena. Proto každé větší srážky odtékají, nedostanou se do infiltrace. Tím vysvětlujeme, proč zvodně reaguje zvýšením podzemních vod jen na nižší a časově rozptýlené srážky. Každé větší srážky vyvolávají kolísání průtoků na vodočtu v ústí Volyňky v Němčicích. Místo potřebného průměru 2,0 m³.s⁻¹ je současný průměr 3,50 m³.s⁻¹ a v maximu dosáhl ve sledovaných letech 5,80 m³.s⁻¹.

Analýza také ukázala, že porušené lesní komplexy měly za následek, že v zónách akumulace velmi často docházelo ve směrech podzemních vod k zamokření polí. Řešení se bohužel našlo v plošném odvodnění, přestože příčiny byly právě v odlesnění geomorfologických útvarů a rozvodnic. Naše analýzy lesních komplexů (Velký Mehelník – písecké lesy, Černické lesy u Bechyně aj.), jakož i studium směrů hlubinných a vadosních vod, staví strukturu krajinného prostoru do zcela jiného světla a vytvářejí předpoklady k řešení jeho účelné restrukturalizace na hydrologickém principu.

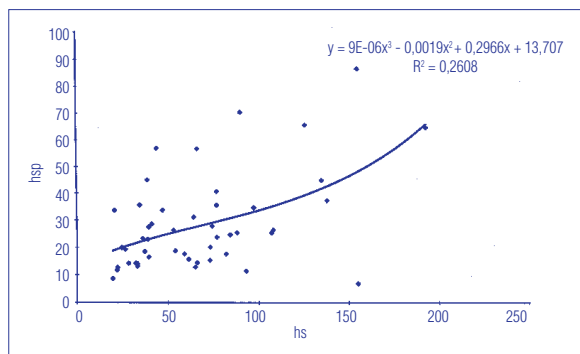
Člověk po staletí soustavně využíval krajinný prostor, ve kterém žil a který mu poskytoval obživu. To vše by bylo nutné a přijatelné, po-



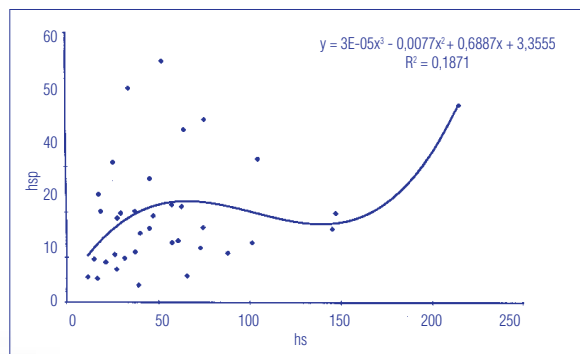
Obr. 9: Vyrovnání složek hso a hsp v hydrologickém obvodu.



Obr. 6: Průběh změn hsp v závislosti na hs ve srážkově podnormálních letech, Volyňka.



Obr. 7: Závislost hso na hs ve srážkově nadnormálních letech, Volyňka.



Obr. 8: Závislost hso na hs ve srážkově podnormálních letech, Volyňka.

kud by respektoval skutečnost, že biosféra a hydrosféra krajinného prostoru se vyvíjejí extenzivně, tedy tak, aby si udržely stabilitu při nejmenším vkladu energie. Tento nanejvýš moudrý a nutný zákon přírody člověk porušoval soustavným tlakem nových požadavků, které nekompensoval svou činností tak, aby biosféru i hydrosféru přivedl do potřebného stupně progresivního vývoje, aby rychlost všech procesů odpovídala jeho zvýšeným požadavkům. Z toho pak vyplynulo porušení komplexu lesů jako nejprogresivnějšího prvku krajinného prostoru se všemi důsledky, které dnes s nemalými obtížemi musí být řešeny.

Zjištěné výsledky byly získány s finanční podporou grantu MŠMT, id. kód: CEZ J O6/98:122200002/I.

Seznam použité literatury je k dispozici u autorů.

Adresa autorů:

Prof. Ing. Karel Kudrna, DrSc.,

Ing. Marie Šindelářová, CSc.

Kamýčká 937, 165 00 Praha 6 Suchbát