

VLÁHOVÁ BILANCE ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINY

Mojmír Kohut, Jaroslav Rožnovský, Filip Chuchma

*Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno,
mojmir.kohut@chmi.cz, roznovsky@chmi.cz, filip.chuchma@chmi.cz*

Abstract

In the construed article there is briefly analyzed long-term basic moisture balance in the area of Czech Republic in period of 1961-2000. Rating of long-time term moisture balance in the area of Czech Republic was done for 155 selected climatic stations of CHMI (Czech Hydrometeorological Institute) based on comparison of two major components of water circle in landscape environment, meaning rainfall and evaporation, which is represented by evapotranspiration of grass growth. For complete analysis the certified and recommended method of calculation with combinatory Penman-Monteith's equation was used in modified form according to MORECS ("The Meteorological Office for Rainfall and Evaporation Calculating System") and AVISO ("Agrometeorological Calculating and Informative System") models. Source of all climate data was the official climatological database CHMI CLIDATA of the database system ORACLE. All missing data were complemented with unified way of regression analysis method.

The complete calculation of evapotranspiration and water balance of grass growth in period of 1961-2000 in daily basis was realized in the AVISO Model for listed number of selected climatic stations. The whole system was programmed as open with possibilities of continuous improvements of final results with algorithm modifications, eventually complementation or modification of other climatological data.

The rating of long-time term moisture ratios itself in the area of Czech Republic in the years 1961-2000 was done in term of areal: A) For the whole area of Czech Republic for selected date (end of calendar year, start of vegetation season, end of vegetation season, start of summer, end of summer) or periods (vegetation season, summer); B) For the whole area of Czech Republic with distinction to height zoning (to 200 m a. s. l., 201-300 m a. s. l., 301-400 m a. s. l., 401-500 m a. s. l., 501-600 m a. s. l., 601-700 m a. s. l., 701-800 m a. s. l. and over 800 m a. s. l.); C) These selected areas of Czech Republic (South Moravia, Middle Moravia, Polabí and Poohří) are significant agricultural areas of the Republic.

Map details gives vivid and transparent image about space appearance of long-time moisture balance of grass growth on the area of Czech Republic in the years 1961-2000.

Keywords: moisture balance, evapotranspiration, modified method Penman-Monteith, climatological data, statistics dataprocessing

Úvod

V předkládaném příspěvku je stručně z časoprostorového hlediska analyzována dlouhodobá vláhová bilance travního porostu na území ČR v horizontu let 1961-2000. Pro komplexní hodnocení vláhových podmínek v krajině byly použity algoritmy modelu AVISO („Agrometeorologická Výpočetní a Informační SOustava“), provozovaného operativním a režimovým způsobem na ČHMÚ, pobočce Brno. Předlohou k jeho komplexnímu sestavení byl anglický model MORECS ("The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System"), který je již řadu let aplikován v operativním provozu pracovištěm v Bracknellu pro celé území Britského souostroví.

Předkládaný článek se rámcově věnuje problematice vláhové bilance, kterou lze zjednodušeně chápat jako prostý rozdíl srážek a evapotranspirace bez podrobné analýzy vlhkostních poměrů svrchního půdního horizontu. Vypočítané údaje evapotranspirace různých povrchů jsou v denním kroku na výstupu obou výše citovaných modelů. V tomto smyslu lze hovořit o jakési **klimatické vláhové bilanci**. Podstatně více prací u nás a v zahraničí však existuje na modelové řešení vodní bilance, při které se specifikují taktéž vlhkostní poměry v půdě, zvláště v jejich svrchních horizontech, a současně se řeší podrobněji otázky odtoku povrchového, podpovrchového (hypodermického) či podzemního. Takto pojatá bilance je ve středu zájmu hlavně hydrologů. Je možno však říci, že vláhovou bilanci ve smyslu vzájemného srovnání srážek a evapotranspirace řeší řada různých modelů, které se zabývají evapotranspirací (údaje o evapotranspiraci mají např. na výstupu) a u kterých jsou navíc základním bilančním prvkem srážky. Vzhledem ke skutečnosti, že evapotranspiraci lze počítat více způsoby, otázka vláhové bilance nemusí být vždy jednoznačná.

Literárním přehledem, který se zabývá vláhovou, případně vodní bilancí v krajinném prostředí, se na tomto místě z důvodů prostorových nebudeme zabývat. Případné zájemce o tuto problematiku odkazujeme na práci M. Kohuta (2007), kde je uveden podrobný literární přehled starších i novějších publikací, týkajících se hodnocení vlhkostních poměrů v krajině.

Materiál a metody

Vedle charakteristik, které specifikují vlhkostní poměry v půdě (např. aktuální deficity různých plodin, ze zemědělského hlediska zásoba půdní vody apod.), je právě časoprostorové určení vláhové bilance travního porostu jedním ze základních výstupů modelu AVISO.

Pod pojmem **vláhová bilance** obecně a ve zjednodušeném pohledu rozumíme vzájemný rozdíl mezi atmosférickými srážkami jako základní příjmovou složkou oběhu vody v krajině a celkovým výparem (evaporací, v případě rostlinného krytu evapotranspirací), který společně s odtokem (povrchovým, podzemním a podpovrchovým či hypodermickým) je základní výdejovou složkou bilance oběhu vody v přírodě. Výpočet se provede podle jednoduchého vzorce:

$$VLBI = SRA - ETP \quad (1)$$

kde: VLBI = vláhová bilance [mm],
 SRA = srážky [mm],
 ETP = obecně evapotranspirace počítaná předem zvoleným postupem [mm].

Vláhová bilance travního porostu v pojetí tohoto článku je tedy počítána bez bližší specifikace a upřesnění vlhkostních poměrů v půdním podloží. Základním problémem při zpracování vláhových bilancí je určení ztráty vody výparem (evaporací, v případě rostlinného pokryvu evapotranspirací). Výchozím vztahem pro výpočet byla v předkládané práci **úplná Penman-Monteithova kombinovaná rovnice** s korekcí na teplotu vypařujícího povrchu a s vlhkostí vzduchu ve formě tlaku vodní páry ve tvaru (Hough, M., Palmer, S., Weir, A., Lee, M., Barrie, I., 1997; Hough, M., Jones, R. J., 1997; Thompson N., Barrie, I., Ayles M., 1981):

$$\lambda * ET = \frac{\Delta * (R_{ne} - G) + \frac{\rho * c_p * (E_s - E) * \left(1 + \frac{4 * \epsilon * \sigma * (273,16 + T_{scr})^3}{\rho * c_p}\right) * r_a}{\rho * c_p}}{\Delta + \gamma * \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right) * \left(1 + \frac{4 * \epsilon * \sigma * (273,16 + T_{scr})^3}{\rho * c_p}\right) * r_a} \quad (2)$$

- kde: ET = intenzita evapotranspirace, tj. rychlost ztráty vody výparem [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$].
- λ = skupenské (latentní) teplo výparné [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$], $\lambda = 2465000$ [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$] neboli 2,465 [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]. V podstatě se nejedná přesně o konstantu, avšak malé změny λ lze vyjádřit jednoduchou rovnicí v závislosti na teplotě vzduchu. Do modelu nutno dosadit v jednotkách [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$].
- Δ = sklon křivky napětí vodních par při dané teplotě vzduchu, tj. derivace závislosti mezi měrnou vlhkostí vzduchu nasyceného vodními parami a teplotou vzduchu [$\text{hPa}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\text{mb}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$].
- R_{ne} = radiační bilance na povrchu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]. Položíme-li výchozí předpoklad shodnosti teploty vzduchu měřené na standardní úrovni 2 m a teploty vypařujícího povrchu, potom platí $R_n = R_{ne}$.
- G = tok tepla v půdě [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].
- ρ = hustota vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].
- c_p = měrné (specifické) teplo vzduchu při konstantním tlaku vzduchu a konstantní teplotě vzduchu 273,16 K [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], $c_p = 1004,6$ [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$].
- E_s = tlak nasycené vodní páry při teplotě vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m [hPa , mb].
- E = aktuální tlak vodní páry při teplotě vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m [hPa , mb].
- ε = koeficient emisivity (vyzařování) vypařujícího povrchu [-], $\varepsilon = 0,95$ [-].
- σ = Stefan-Boltzmannova konstanta [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$], $\sigma = 5,675\cdot 10^{-8}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$].
- T_{scr} = teplota vzduchu měřená ve standardní výšce 2 m [$^{\circ}\text{C}$].
- r_a = aerodynamická rezistence (odpor) plodiny [$\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$].
- r_s = celková povrchová rezistence (odpor) plodiny a půdy [$\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$].
- γ = psychrometrická konstanta, $\gamma = 0,66$ pro teplotu vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$ a tlak vodní páry v hPa nebo mb .

Vztah (2) je použit v modelu MORECS. Do výpočetních algoritmů modelu AVISO bylo začleněno několik modifikací, které víceméně vycházejí z konkrétních podmínek řešení v rámci území ČR.

Vlastní výpočet evapotranspirace metodou Penman-Monteith se v obou modelech vzhledem k návaznosti ke komplexnímu řešení této agrometeorologické problematiky poněkud odlišuje od standardních výpočetních postupů metodou Penman-Monteith.

Z modifikací lze ve stručnosti uvést:

- ▶ Algoritmus předpokládá přepočtení teploty vzduchu, měřené ve standardní výšce 2 m na úrovni meteorologické budky, na teplotu vypařujícího povrchu.
- ▶ Radiační bilance je rozdělena na bilanci za denní a noční dobu. Na rozdíl od jiných výpočetních postupů se alespoň rámcově uvažuje s tokem tepla v půdě odděleně za denní a noční dobu. Při výpočtu za noční dobu se mimo jiné vychází z dlouhodobé průměrné tepelné kapacity půdy.
- ▶ Odděleně se uvažuje vliv oblačnosti za denní a noční dobu.
- ▶ Penman-Monteithova teorie vyžaduje znalost aerodynamické a celkové povrchové rezistence. Při výpočtu aerodynamické rezistence se dosazuje rychlost větru měřená v 10 m (standardní hladina pro měření rychlosti větru v síti klimatologických stanic ČHMÚ), nikoliv hodnota přepočítaná do standardní výšky měření v meteorologické budce. Toto je ve shodě s odvozením v modelu MORECS, přičemž vlastní přepočtení na standardní hladinu 2 m se děje až ve vlastní aplikaci. Celková povrchová rezistence, skládající se z rezistence holé půdy a travního porostu, je pro den jako celek v závěru počítána jako vážený průměr vypočítaných celkových povrchových rezistencí za denní a noční dobu.

- ▶ Koeficienty v Angstrómově vzorci nejsou konstantní, ale nepatrně se mění v závislosti na zeměpisné šířce (koeficient a) a na ročních obdobích (koeficient b).
- ▶ Vybrané fyto-metrické charakteristiky travního porostu (index plochy listoví, výška a efektivní výška travního porostu) schématicky podléhají časovým změnám v průběhu roku. To platí i o koeficientu dynamické drsnosti, který je standardně roven 1/10 výšky travního porostu.
- ▶ V průběhu roku se sledují časové změny albeda, a to v závislosti na indexu plochy listoví a vlhkosti svrchní části půdního horizontu.
- ▶ Uvažuje se vliv sněhové pokrývky v zimním období. Pokud nastanou „zimní“ podmínky, tj. pokud se vyskytuje sníh, mění se albedo (vyšší odrazivost vzhledem k bílé barvě sněhu) a uvažuje se latentní teplo sublimační místo latentního tepla vypařování.
- ▶ Vybrané charakteristiky, které vstupují do výpočtu evapotranspirace travního porostu, se, pokud možno, počítají (latentní teplo výparné, hustota vzduchu a tlak vzduchu, psychrometrický koeficient).
- ▶ Pro výpočet tlaku nasycené vodní páry se používá postup doporučený WMO a u nás publikovaný v rámci NKP (Coufal, Langová, Míková, 1992). Algoritmus modelů nepoužívá zjednodušený postup podle Magnusova vzorce.

Vzhledem k výše uvedenému postupu proto hovoříme o **modifikovaném způsobu výpočtu evapotranspirace metodikou Penman-Monteith**. Modifikace ve svém konečném důsledku způsobí většinou snížení výsledných hodnot evapotranspirace při vzájemném porovnání s evapotranspirací podle standardního postupu Penman-Monteith. Jestliže aplikujeme tuto skutečnost do výpočtů vláhových bilancí, předem lze hovořit o částečném navýšení, resp. nadlepšení výsledných bilančních hodnot. Proto také hovoříme o vláhové bilanci a nikoliv základní vláhové bilanci (vstupem by byla potenciální evapotranspirace) nebo aktuální vláhové bilanci (vstupem by byla aktuální evapotranspirace).

Model AVISO byl aplikován pro zpracování vláhových bilancí travního porostu v denním kroku za období 1961-2000 v rozsahu 155 klimatologických stanic ze sítě měřicích objektů ČHMÚ. Pro zjednodušení se ve všech výpočtech bral v úvahu travní porost, u něhož na rozdíl od ostatních zemědělských plodin nemusíme mít k dispozici žádné fenologické údaje. Výpočet evapotranspirace byl proveden podle vztahu (2) pomocí denních klimatických údajů základních meteorologických prvků:

- průměrná denní teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$], počítaná způsobem standardním v naší meteorologické praxi, kdy z klimatologických termínů 07, 14 a 21 hod. poslední z nich má dvojnásobnou váhu;
- průměrný denní tlak vodní páry [hPa], počítaný ze tří klimatologických termínů 07, 14 a 21 hod.;
- trvání slunečního svitu za den [hod];
- průměrná denní rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], počítaná ze tří klimatologických termínů 07, 14 a 21 hod.;
- úhrn srážek za den [mm] vstupuje do výpočtů vláhových bilancí.

Pokud to výpočetní algoritmus výpočtů vyžadoval, respektoval se polohopis každé stanice (zeměpisná šířka a nadmořská výška) včetně případných změn, které nastaly během dlouhodobého období 1961-2000.

Do výpočtů byly zahrnuty všechny klimatologické stanice, které v daném dlouhodobém období 1961-2000 měly alespoň 20 let pozorování. Je zcela jasné a logické, že u většiny klimatologických stanic se muselo přistoupit k doplnění a k verifikaci doplněných hodnot všech výše uvedených meteorologických prvků. Doplnění chybějících dat bylo realizováno

jednoduchými statistickými metodami regresní analýzy, a to na základě nejbližší ležící klimatologické stanice, resp. nejbližší ležících klimatologických stanic, kdy ve všech případech primárně musela být splněna základní podmínka relativní správnosti dat referenční stanice, resp. referenčních stanic a navíc podmínka obdobných fyzicko-geografických poměrů v krajině.

Provedeme-li souhrnnou analýzu kompletního souboru klimatologických stanic a všech klimatických dat, která byla nutná k výpočtům evapotranspirace a tedy vláhové bilance travního porostu (teplota vzduchu, tlak vodní páry, sluneční svit, rychlost větru, srážky, vše v denním intervalu), dospějeme k následující tabulce.

Tab. 1 Analýza klimatických dat pro dlouhodobé zpracování vláhových bilancí na území ČR

% chybějících údajů	Počet klim. stanic	% chybějících údajů	Počet klim. stanic
kompletní řady	25	50,1 % – 60,0 %	4
0,01 % – 10,0 %	36	60,1 % – 70,0 %	0
10,1 % – 20,0 %	23	70,1 % – 80,0 %	0
20,1 % – 30,0 %	44	80,1 % – 90,0 %	0
30,1 % – 40,0 %	10	90,1 % – 99,99 %	0
40,1 % – 50,0 %	13	data zcela chybí	0

Podle databáze ČHMÚ CLIDATA na území ČR bylo vybráno celkem 25 klimatologických stanic, které mají kompletní řady denních hodnot pěti výše uvedených základních meteorologických prvků za dlouhodobé období 1961-2000 (do 1 % chybějících údajů 37 klimatologických stanic). Z celkového počtu 11 322 750 denních údajů vybraných meteorologických prvků za období 1961-2000 bylo doplněno 1 964 250 dat (17,3 % všech dat, vstupujících do kompletních výpočtů).

Vzhledem k obrovskému množství zpracovaného materiálu a získaných výsledků rozsah předkládaného článku dovoluje publikovat pouze zlomek dosažených výsledků, který jsme omezili na zhodnocení dlouhodobých vláhových bilancí travního porostu pro vybrané skupiny klimatologických stanic, a to podle následujících kritérií:

- ♦ **vertikální měřítko:** rozdělení klimatologických stanic podle nadmořské výšky do výškových pásem, do výpočtů vstupuje všech 155 klimatologických stanic,
- ♦ **plošné měřítko:** rozdělení vybraných klimatologických stanic do vybraných oblastí.

Četnostní rozdělení klimatologických stanic podle výše uvedených měřítek je v následujících tabulkách.

Tab. 2 Vertikální rozmístění klimatologických stanic vybraných z databáze ČHMÚ

Výškové pásmo	Počet klim. stan.	Nadmořská výška [m n. m.]				
		průměr	nejnižší	klim. stan.	nejvyšší	klim. stan.
do 200 m n. m.	12	178	157	Děčín	200	Bohumín
201-300 m n. m.	31	249	201	Dyjákovice, Žatec	300	Lučina
301-400 m n. m.	35	349	303	Praha, Libuš	400	Boskovice
401-500 m n. m.	33	450	402	Ústí nad Orlicí	490	Čechtice
501-600 m n. m.	16	550	510	Luká	593	Světlá Hora
601-700 m n. m.	11	648	603	Karlovy Vary	691	Mariánské Lázně
701-800 m n. m.	10	749	722	Nedvězí	780	Karl. Studánka
nad 800 m n. m.	7	1037	803	Lenora, Houžná	1490	Praděd

Tab. 3 Vybrané oblasti ČR

Oblast ČR	Klim. stanice	m n. m.	Oblast ČR	Klim. stanice	m n. m.
jižní Morava (6 klim. stanic)	Dyjákovice	201	střední Morava (5 klim. stanic)	Olomouc	210
	Kuchařovice	334		Přerov	203
	Brno, Tuřany	241		Ivanovice n. H.	245
	Pohořelice n. J.	183		Kroměříž	235
	Velké Pavlovice	196		Holešov	224
	Lednice	176		-	-
Polabí (7 klim. stanic)	Tuhaň	160	Poohří (6 klim. stanic)	Blšany	290
	Brandýs n. L.	179		Tušimice	322
	Poděbrady	196		Smolnice	345
	Čáslav	251		Žatec, Velemyšl.	273
	Chotusice, let.	235		Žatec	201
	Hradec Králové	278		Doksany	158
	Pardubice, let.	225		-	-

Při výběru intervalů byl největší důraz kladen na pokud možno rovnoměrné rozmístění klimatologických stanic vzájemně mezi intervaly a v rámci určitého výškového pásma. Vypočítané průměrné nadmořské výšky ve všech intervalech vyjma okrajových jsou rovny nebo se velmi blíží střední hodnotě, navíc četnost v rozmezí nadmořských výšek 201 až 500 m n. m. je srovnatelná. To vše lze považovat za důkaz správnosti zvolených intervalů.

Druhá část plošné analýzy dlouhodobých vláhových poměrů proběhla pro předem vybrané oblasti ČR. Zpracování podle výše uvedeného vertikálního členění v sobě totiž může zahrnovat jistý nedostatek, spočívající v potlačení specifických vlastností (kladných, ale především záporných) na některých územích. Jako příklad lze uvést jihomoravskou oblast, kde v dlouhodobém časovém horizontu se zvláště na jaře a v průběhu léta pravidelně projevuje nebo může projevovat nedostatek srážek a z toho vyplývající místně nepříznivé až velmi nepříznivé vláhové či vlhkostní poměry. Zpracováním podle vertikálních pásem se tato nepříznivá skutečnost výrazněji nemusí vždy projevit, neboť klimatologické stanice jižní Moravy leží v několika výškových pásmech (do 200 m n. m., 201-300 m n. m. a dokonce i 301-400 m n. m., např. Kuchařovice u Znojma). Do těchto nejnižších pásem navíc podle své nadmořské polohy byly začleněny další klimatologické stanice z jiných oblastí ČR, kde nepříznivé vláhové podmínky nejsou nebo nemusí být tak markantní. Plošný rozbor dlouhodobých vláhových bilancí byl proto proveden pro čtyři oblasti, jejichž klimatologické stanice leží v nejnižších nadmořských výškách. Jedná se o zemědělsky využívané územní celky, u nichž lze předpokládat alespoň v některých obdobích roku víceméně pravidelný výraznější nedostatek srážek a převahu evapotranspiračních procesů.

Kompletní výpočty byly provedeny pro různá časová období:

- ♦ *kalendářní rok,*
- ♦ *vegetační a mimovegetační období,*
- ♦ jednotlivá roční období (*jaro, léto, podzim, zima*),
- ♦ období od počátku roku *k 1.3., 1.6., 1.9. a 1.12.*, datumy byly zvoleny s ohledem na nástup a ukončení ročních období.

Předkládaný příspěvek prezentuje vybrané výsledky zpracování za kalendářní rok a vegetační období.

Výsledky a diskuse

Část dosažených výsledků hodnocení dlouhodobých vláhových poměrů na území ČR je v tab. 4 a 5 prezentována pro rok a vegetační období formou dlouhodobých údajů s rozlišením podle výškových pásem a na vybrané oblasti ČR. V obou tabulkách jsou navíc barevně vyznačeny minimální a maximální dlouhodobé údaje s upřesněním, v které klimatologické stanici byly dosaženy. Na obr. 1 je zpracován chod průměrných vláhových bilancí (výpočet ze všech 155 stanic) za období 1961-2000 pro rok jako celek a vegetační období, přičemž barevně jsou vyznačeny maximální a minimální vláhové bilance dosažené některou ze stanic.

Tab. 4 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu, výšková pásma ČR, průměrné úhrny za rok a vegetační období (1961-2000) [mm]

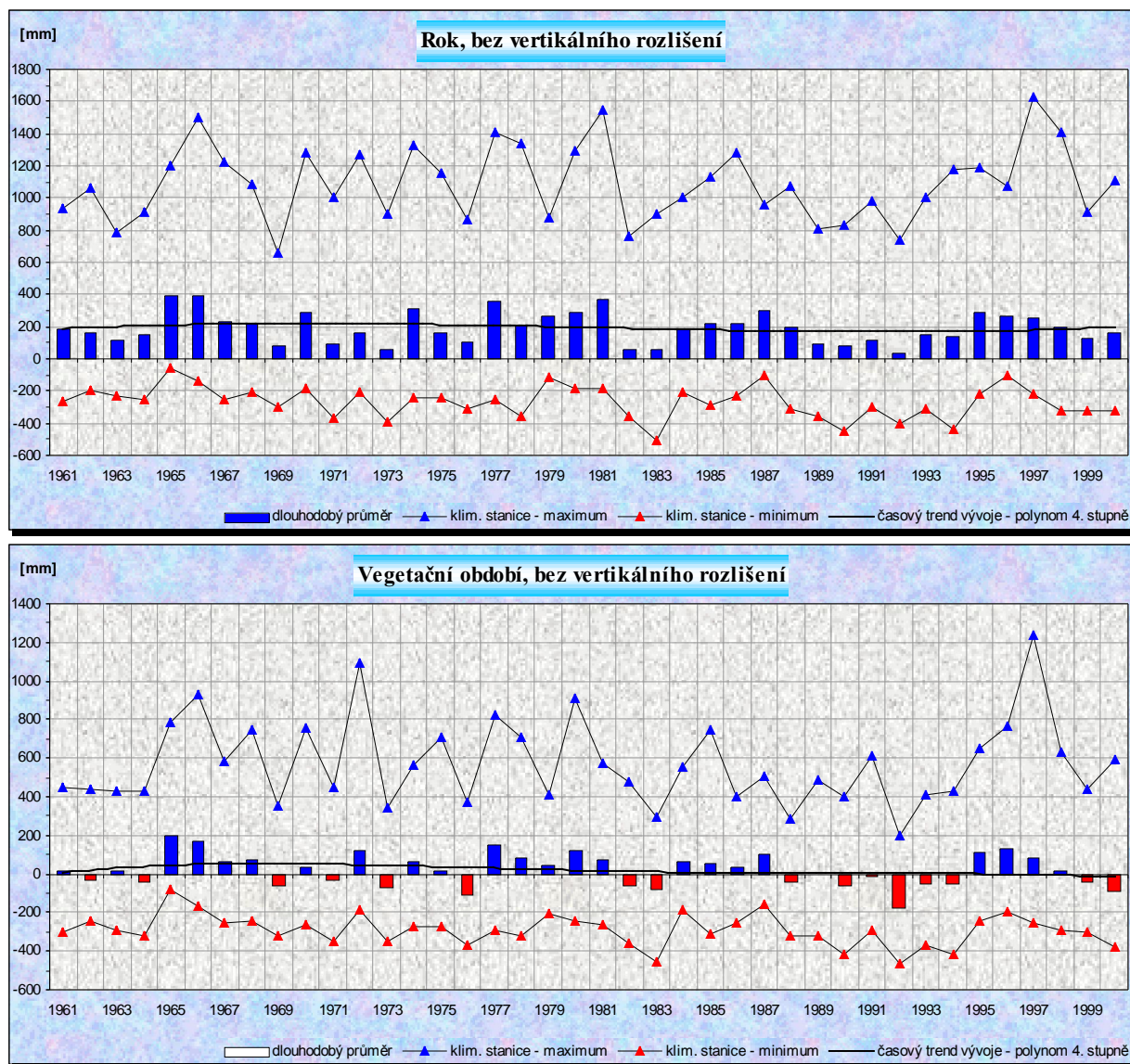
Charakteristika Výškové pásmo	Rok				
	minimum	klim. stan.	průměr	maximum	klim. stan.
bez rozlišení	-214,1	Kuchařovice	194,1	972,9	Lysá hora
do 200 m n. m.	-181,2	Praha,Klem.	7,6	291,4	Děčín
201 – 300 m n. m.	-189,0	Praha,KarloV	47,4	315,2	Lučina
301 – 400 m n. m.	-214,1	Kuchařovice	155,7	503,5	Hejnice
401 – 500 m n. m.	-83,4	Sedlec	201,6	551,8	N.Město p. S.
501 – 600 m n. m.	10,9	Kocelovice	188,3	443,2	Rokytnice (O.h.)
601 – 700 m n. m.	114,6	Karlovy Vary	440,0	888,6	Harrachov
701 – 800 m n. m.	123,7	Nedvězí	427,3	901,8	Desná,Souš
nad 800 m n. m.	-4,3	Milešovka	613,1	972,9	Lysá hora

Charakteristika Výškové pásmo	Vegetační období				
	minimum	klim. stan.	průměr	maximum	klim. stan.
bez rozlišení	-241,9	Kuchařovice	20,2	538,1	Lysá hora
do 200 m n. m.	-190,6	Praha,Klem.	-86,1	81,7	Děčín
201 – 300 m n. m.	-229,3	Brno,Tuřany	-59,9	154,1	Lučina
301 – 400 m n. m.	-241,9	Kuchařovice	-0,9	234,4	Hejnice
401 – 500 m n. m.	-155,5	Sedlec	40,9	303,0	Frenštát p.R.
501 – 600 m n. m.	-87,5	Kost.Myslová	24,0	115,7	Husinec,V.Brod
601 – 700 m n. m.	-37,2	Karlovy Vary	124,0	325,6	Deštné v O.h.
701 – 800 m n. m.	-53,1	Přimda	127,3	339,7	Bedřichov
nad 800 m n. m.	-117,9	Milešovka	240,7	538,1	Lysá hora

Tab. 5 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu, vybrané oblasti ČR, průměrné úhrny za rok a vegetační období (1961-2000) [mm]

Charakteristika Oblast	Rok				
	minimum	klim. stan.	průměr	maximum	klim. stan.
jižní Morava	-214,1	Kuchařovice	-125,7	-43,8	Pohořelice n.J.
střední Morava	-96,1	Přerov	12,0	80,9	Ivanovice n.H.
Polabí	-54,1	Tuhaň	18,9	96,9	Poděbrady
Poohří	-126,1	Žatec,Velemyšl.	-47,1	14,5	Smolnice

Charakteristika Oblast	Vegetační období				
	minimum	klim. stan.	průměr	maximum	klim. stan.
jižní Morava	-241,9	Kuchařovice	-183,6	-115,4	Pohořelice n.J.
střední Morava	-143,3	Přerov	-79,3	-33,0	Ivanovice n.H.
Polabí	-121,9	Tuhaň	-78,2	-32,0	Poděbrady
Poohří	-166,3	Tušimice	-109,2	-62,2	Blšany

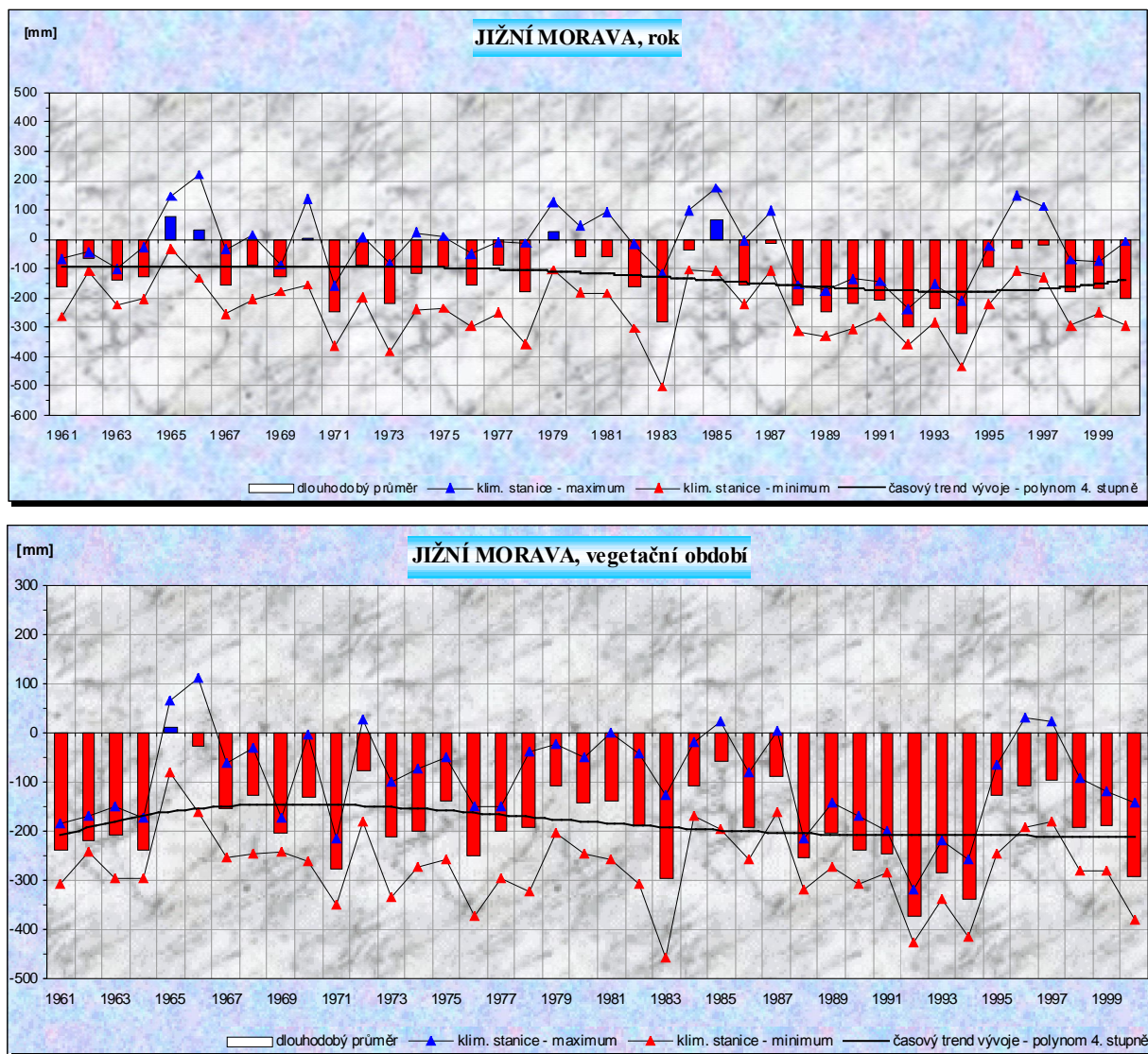


Obr. 1 Vláhová bilance travního porostu, území ČR bez rozlišení výškových pásem, průměrné, maximální a minimální úhrny za rok a vegetační období (1961-2000)

Budeme-li brát konkrétní vypočítané údaje (tab. 1), průměrná dlouhodobá vláhová bilance ve vertikálním profilu v rámci roku jako celku narůstala od 7,6 mm (nejnižší pásmo do 200 m n. m.) do 613,1 mm (nejvyšší pásmo nad 800 m n. m.) a bez vertikálního členění činila 194,1 mm. Jedinou anomálii (přechod mezi vertikálními pásmy ve středních nadmořských výškách) lze přisoudit výběru klimatologických stanic, z nichž se počítá dlouhodobý průměr. Bereme-li vegetační období, do nadmořské výšky 300 m n. m. je dlouhodobá vláhová bilance výrazněji záporná, naopak od nadmořských výšek 400 m n. m. se vzhledem k vyšším srážkovým úhrnům již projevuje kladná dlouhodobá vláhová bilance. Pro celé území ČR bez vertikálního ročlenění byla vypočítána hodnota 20,2 mm.

Jak vyplývá z grafů na obr. 1, rok jako celek ve sledovaném 40ti letém období vždy končil s kladnou průměrnou vláhovou bilancí, tj. s převahou srážek nad evapotranspirací. Avšak vláhová bilance vždy alespoň jedné z klimatologických stanic v každém z analyzovaných let byla záporná. Situace ve vegetačním období logicky není tak jednoznačná. Na přelomu 80. a 90. let bylo např. souvislé období (1988-1994) se zápornými průměrnými vláhovými bilancemi.

Tab. 5 a grafy na obr. 2 dokumentují pro jednotlivé oblasti ČR v dlouhodobém měřítku výrazně horší vláhovou situaci. Je to způsobeno tím, že mezi vybraná území byly zařazeny zemědělsky využívané oblasti, o nichž se předem předpokládalo, že po určitou část roku bude pro ně charakteristický nedostatek srážek a tím zhoršené vláhové podmínky. Průměrná dlouhodobá vláhová bilance v rámci roku je výrazně negativní na jižní Moravě (-125,7 mm) a Poohří (-47,1 mm), naopak vyrovnanější je na střední Moravě a Polabí, kde dosahuje kladných hodnot (12,0 mm, resp. 18,9 mm). Za vegetační období jsou všechny výsledky výrazně záporné ve všech jmenovaných oblastech. Nejhorší situace je opět v Poohří (-109,2 mm) a hlavně na jižní Moravě (-183,6 mm). Žádná z klimatologických stanic nedosáhla ve vegetačním období v dlouhodobém měřítku kladné vláhové bilance. Grafy na obr. 2 přehledně dokumentují průběh vláhové bilance na jižní Moravě za zpracované 40letí 1961-2000. Bereme-li v úvahu rok, pak pouze pro roky 1965, 1966, 1979 a 1985 byla vypočítána kladná průměrná vláhová bilance, zatímco u vegetačního období to bylo jen v roce 1965. Vhodnou doplňující informací je u všech grafů na obr. 1 a 2 časový trend vývoje vláhových podmínek za období 1961-2000, který je zkonstruován podle polynomu 4. stupně. Pomocí extrémních hodnot je ve všech grafech znázorněna obalová křivka, která informuje o amplitudě a pravděpodobném rozložení hodnot vláhových bilancí v analyzovaném období 1961-2000.



Obr. 2 Vláhová bilance travního porostu, oblast jižní Moravy, průměrné, maximální a minimální úhrny za rok a vegetační období (1961-2000)

V dalším zpracování dlouhodobých vláhových podmínek na území ČR jsme se zaměřili na analýzu dlouhodobých měsíčních hodnot, a to ve formě měsíčních a kumulovaných měsíčních údajů. Ke kumulativním výpočtům jsme přistoupili hlavně z důvodu získání podrobnějších poznatků o vláhových poměrech během roku. Kompletní informace pro naši republiku s rozdělením do výškových pásem a pro zvolené nížinné oblasti jsou uvedeny v tab. 6 a 7. Jedná se opět o dlouhodobé průměrné vláhové údaje, kdy každá měsíční hodnota reprezentuje průměr z příslušných klimatologických stanic. Pro lepší orientaci jsou barevně zvýrazněny extrémní hodnoty, tj. výskyt měsíční nejnižší a měsíční nejvyšší průměrné vláhové bilance v dlouhodobém měřítku během roku.

Tab. 6 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu, výšková pásma ČR, průměrné měsíční a průměrné kumulované měsíční úhrny (1961-2000) [mm]

Výškové pásmo	Dlouhodobá průměrná vláhová bilance travního porostu												ROK
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
bez rozlišení	31,7	25,7	17,7	-1,8	<u>-2,2</u>	6,7	0,5	4,6	12,3	20,1	37,9	<u>40,8</u>	194,1
do 200 m n. m.	18,1	13,8	2,5	-16,6	-18,6	-13,8	<u>-22,2</u>	-13,4	-1,4	9,0	<u>26,1</u>	24,0	7,6
201 - 300 m n. m.	20,3	15,7	4,8	-13,9	-14,4	-8,1	<u>-17,0</u>	-9,4	2,9	10,6	<u>28,3</u>	27,5	47,4
301 - 400 m n. m.	29,0	23,5	13,7	-4,6	<u>-5,0</u>	1,8	-4,3	1,4	9,9	17,3	35,6	<u>37,5</u>	155,7
401 - 500 m n. m.	28,6	23,9	17,6	<u>1,7</u>	<u>1,7</u>	11,3	5,0	8,6	12,5	19,2	35,4	<u>36,0</u>	201,6
501 - 600 m n. m.	30,6	23,8	18,3	<u>-1,6</u>	0,3	9,2	0,8	5,1	10,3	19,1	35,1	<u>37,3</u>	188,3
601 - 700 m n. m.	58,0	45,9	40,8	14,0	<u>11,7</u>	24,8	22,7	21,7	29,1	39,3	58,6	<u>73,3</u>	440,0
701 - 800 m n. m.	53,9	44,5	39,0	15,4	<u>12,2</u>	26,3	22,9	22,3	28,3	37,2	57,4	<u>68,0</u>	427,3
nad 800 m n. m.	63,0	54,7	52,8	<u>26,0</u>	27,9	48,7	53,1	41,9	43,1	46,7	70,4	<u>84,9</u>	613,1

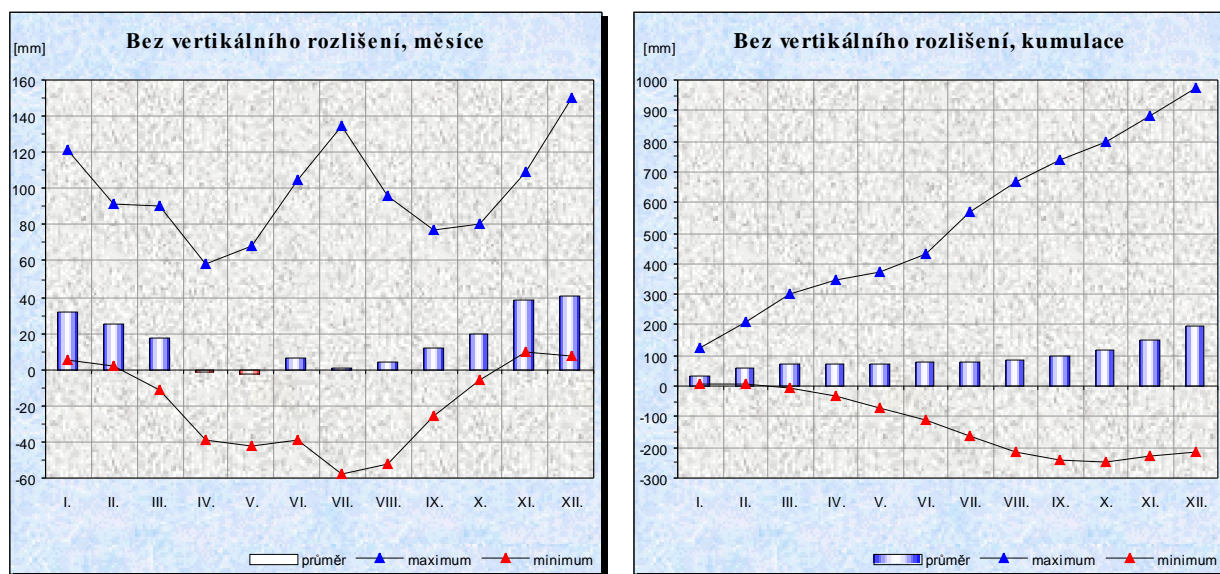
Výškové pásmo	Dlouhodobá průměrná kumulovaná vláhová bilance travního porostu												ROK
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
bez rozlišení	<u>31,7</u>	57,4	75,1	73,3	71,1	77,9	78,4	83,0	95,3	115,4	153,3	<u>194,1</u>	194,1
do 200 m n. m.	18,1	31,9	<u>34,5</u>	17,9	-0,8	-14,6	-36,8	-50,2	<u>-51,6</u>	-42,6	-16,4	7,6	7,6
201 - 300 m n. m.	20,3	36,1	40,8	26,9	12,5	4,4	-12,6	<u>-22,0</u>	-19,0	-8,5	19,9	<u>47,4</u>	47,4
301 - 400 m n. m.	<u>29,0</u>	52,6	66,2	61,6	56,6	58,4	54,1	55,5	65,3	82,7	118,2	<u>155,7</u>	155,7
401 - 500 m n. m.	<u>28,6</u>	52,5	70,1	71,8	73,5	84,9	89,9	98,4	111,0	130,2	165,5	<u>201,6</u>	201,6
501 - 600 m n. m.	<u>30,6</u>	54,4	72,7	71,1	71,4	80,6	81,4	86,5	96,8	115,9	151,0	<u>188,3</u>	188,3
601 - 700 m n. m.	<u>58,0</u>	103,9	144,7	158,6	170,4	195,2	217,9	239,6	268,7	308,0	366,6	<u>440,0</u>	440,0
701 - 800 m n. m.	<u>53,9</u>	98,4	137,4	152,8	164,9	191,2	214,1	236,4	264,7	301,9	359,3	<u>427,3</u>	427,3
nad 800 m n. m.	<u>63,0</u>	117,7	170,5	196,4	224,3	273,0	326,2	368,1	411,1	457,8	528,2	<u>613,1</u>	613,1

Tab. 7 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu, vybrané oblasti ČR, průměrné měsíční a průměrné kumulované měsíční úhrny (1961-2000) [mm]

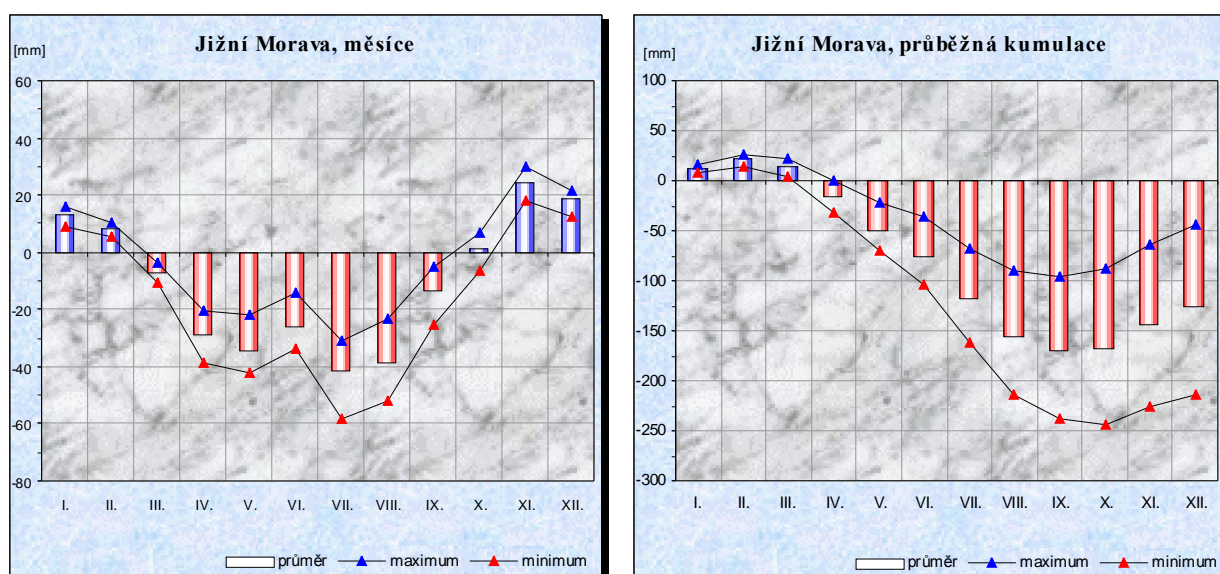
Oblast ČR	Dlouhodobá průměrná vláhová bilance travního porostu												ROK
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
jižní Morava	13,0	8,4	-7,3	-29,1	-34,5	-26,1	<u>-41,7</u>	-38,8	-13,4	1,1	<u>24,3</u>	18,5	-125,7
střední Morava	15,3	12,9	-0,8	-18,8	-16,6	-6,2	<u>-19,6</u>	-16,1	-1,9	10,3	<u>30,0</u>	23,5	12,0
Polabí	20,6	14,6	5,5	<u>-18,5</u>	-16,8	-15,2	-18,4	-9,0	-0,2	7,7	24,0	<u>24,6</u>	18,9
Poohří	12,0	10,7	-0,1	-17,9	-26,9	-21,3	<u>-29,1</u>	-12,0	-2,0	5,7	<u>18,0</u>	15,9	-47,1

Oblast ČR	Dlouhodobá průměrná kumulovaná vláhová bilance travního porostu												ROK
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
jižní Morava	13,0	<u>21,4</u>	14,1	-15,0	-49,5	-75,6	-117,3	-156,1	<u>-169,5</u>	-168,4	-144,1	-125,7	-125,7
střední Morava	15,3	<u>28,2</u>	27,4	8,6	-8,0	-14,2	-33,9	-50,0	<u>-51,9</u>	-41,5	-11,5	12,0	12,0
Polabí	20,6	35,2	<u>40,7</u>	22,2	5,4	-9,9	-28,3	-37,3	<u>-37,5</u>	-29,8	-5,7	18,9	18,9
Poohří	12,0	<u>22,6</u>	22,5	4,6	-22,3	-43,6	-72,7	-84,6	<u>-86,7</u>	-81,0	-63,0	-47,1	-47,1

Z první části tab. 6 vyplývají některé zajímavé závěry. V nejnižších polohách do 300 m n. m. nejnižší dlouhodobá průměrná měsíční vláhová bilance se zápornou hodnotou se vyskytuje v červenci. Se zvyšující se nadmořskou výškou se nejnižší hodnoty přesouvají na květen, případně již duben, přičemž od vertikálního pásma 601-700 m n. m. jsou již výrazně kladné. Příčinou je výrazná evapotranspirace a její převaha nad srážkami v nejnižších pásmech v letních měsících, zvláště pak v červenci. Naopak nejvyšší dlouhodobá průměrná měsíční vláhová bilance se vyskytuje na konci roku v listopadu (nižší polohy) a hlavně v prosinci (střední a vyšší polohy). Od vertikálního pásma 401-500 m n. m. včetně se až na jediný případ nevyskytují záporné hodnoty. V druhé části tab. 6 je uvedena vláhová bilance podle průběžných kumulací. Počínaje vertikálním pásmem 301-400 m n. m. jsou pouze kladné hodnoty vláhové bilance s maximy až v prosinci a minimy již v lednu, naopak v nejnižších polohách do 300 m n. m. je v průběhu léta a částečně podzimu záporná vláhová bilance.



Obr. 3 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu, území ČR bez rozlišení výškových pásem, průměrné měsíční a průměrné měsíční kumulované úhrny (1961-2000) [mm]

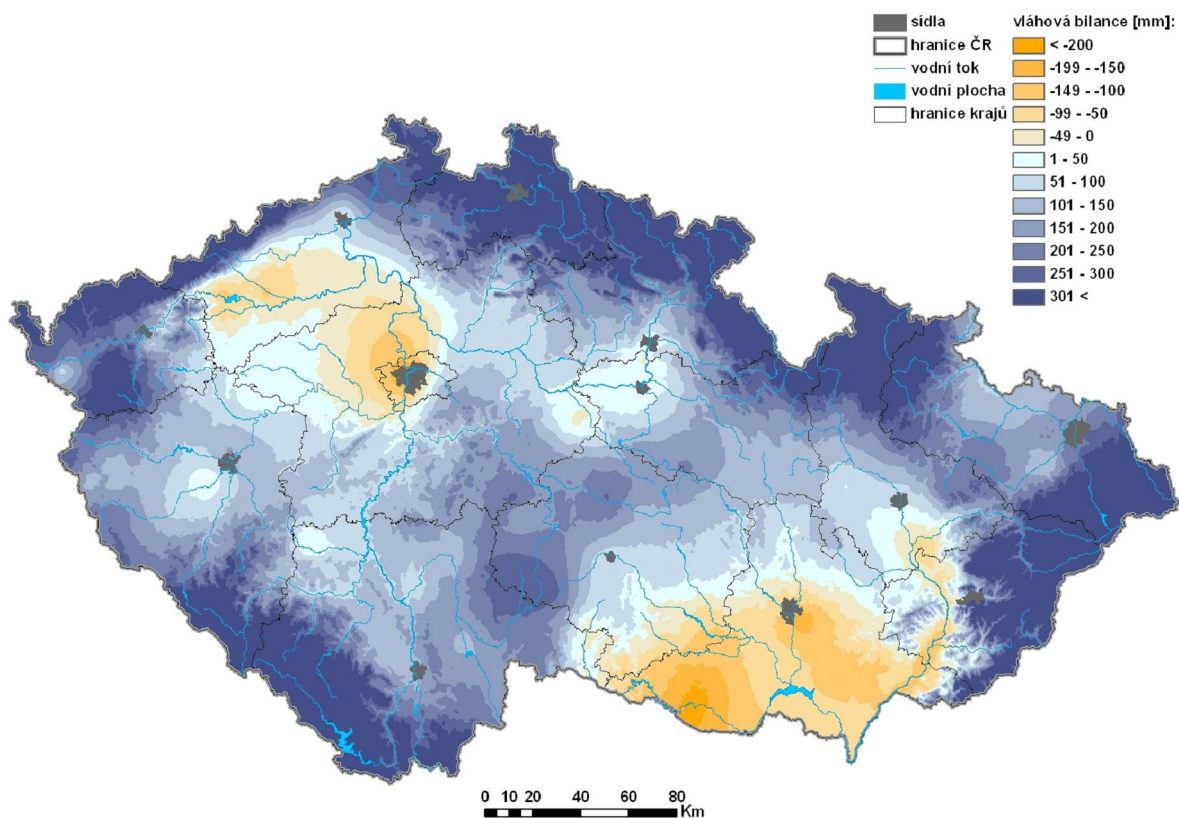


Obr. 4 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu, oblast jižní Moravy, průměrné měsíční a průměrné měsíční kumulované úhrny (1961-2000) [mm]

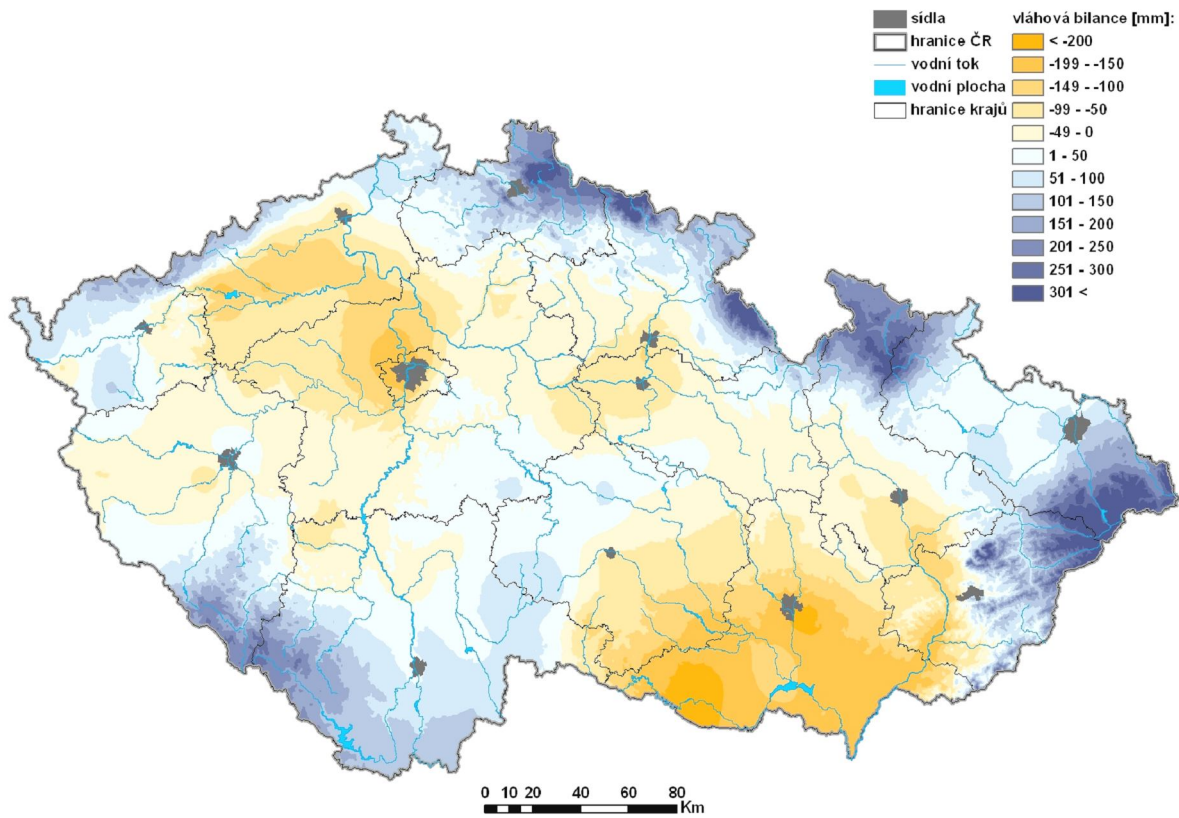
Podobně byla zpracována problematika vybraných nížinných oblastí ČR (tab. 7). Nejméně příznivá je z dlouhodobého hlediska situace v Poohří a zvláště na jižní Moravě, kdy jaro, léto a počátek podzimu se vyznačují zápornými až výrazně zápornými hodnotami průměrných měsíčních vláhových bilancí. Uvažujeme-li kumulativní vyhodnocení, pak duben či květen jsou obecně měsíce s nástupem kontinuální řady měsíců se zápornými vláhovými bilancemi ve většině nížinných oblastí ČR.

Zajímavé poznatky vyplývají z grafů na obr. 3 a 4. Dlouhodobá průměrná vláhová bilance v průběhu roku je ještě doplněna extrémními údaji některé z příslušných klimatologických stanic. Tímto způsobem vzniká obalová křivka, která za předpokladu dlouhodobých podmínek charakterizuje pravděpodobné hraniční hodnoty vláhových bilancí na území ČR (bez vertikálního rozlišení) a na jižní Moravě.

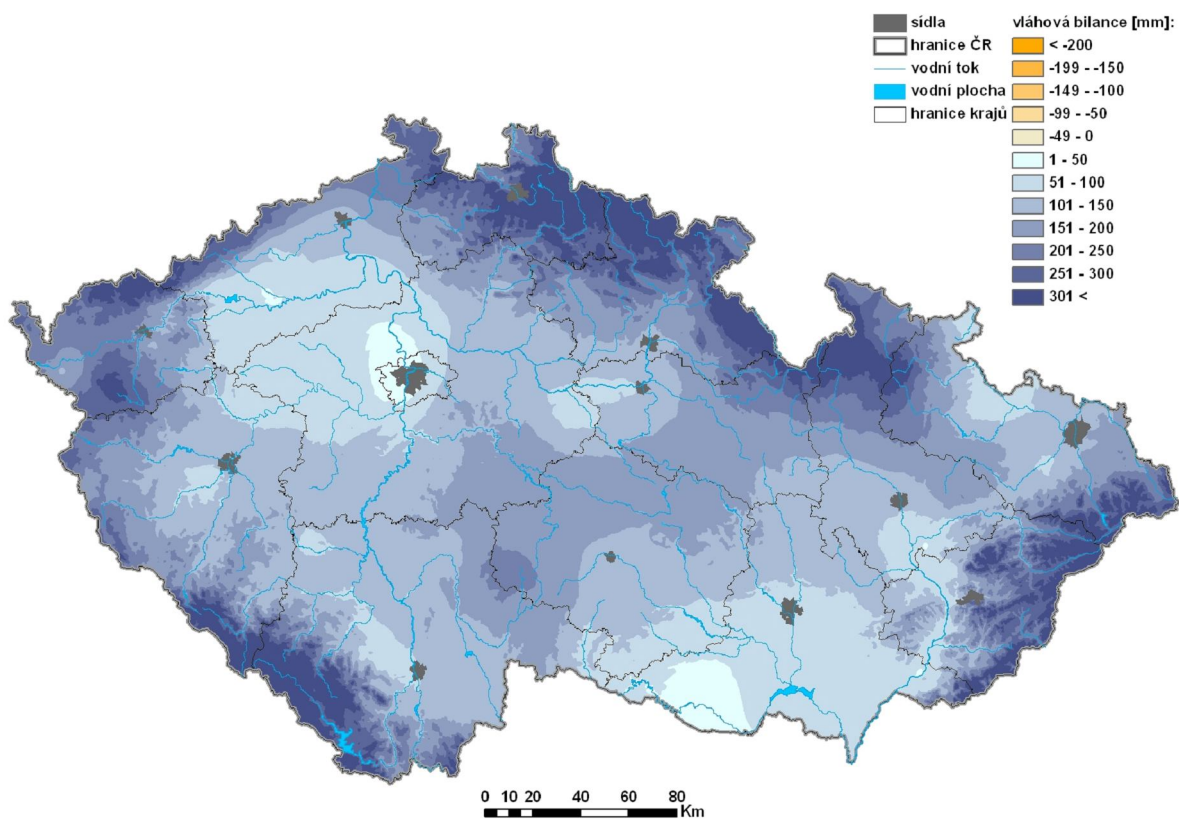
Komplexní pohled na dlouhodobé vláhové podmínky na území ČR, vyjádřené jako rozdíl srážek a evapotranspirace, dávají přehledné mapy. V článku jsme se zaměřili na prezentaci map pro rok jako celek, vegetační a mimovegetační období. Mimovegetační období bylo přitom zpracováno podle dvou po sobě následujících let. Hodnocení vypočítaných údajů a vlastní tvorba map probíhala v softwarovém prostředí ArcGis 9.2 a ArcView 3.2 za pomoci nástrojů obsažených v rozšíření Spatial analyst a také pomocí modulu pro výpočet rastru srážek na základě orografie (orografická extenze), který byl vytvořen na úseku hydrologie ČHMÚ. U předkládaných map na obr. 5, 6 a 7 byl zvolen jednotný interval 50 mm, i když jsme si vědomi, že tímto způsobem jsou více generalizovány oblasti vyšších nadmořských výšek, neboť stupnice končí posledním intervalem s dlouhodobými údaji vláhové bilance travního porostu nad 300 mm, kam podle dosažených výsledků spadají nejen horské, ale i podhorské oblasti.



Obr. 5 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu [mm] za rok na území ČR za období 1961-2000



Obr. 6 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu [mm] za vegetační období na území ČR za období 1961-2000



Obr. 7 Dlouhodobá vláhová bilance travního porostu [mm] za mimovegetační období na území ČR za období 1961-2000

Závěr

Předkládaný příspěvek prezentuje vybrané výsledky, které byly získány komplexním zpracováním vláhových poměrů za období 1961-2000 na území ČR pomocí meteorologických dat 155 klimatologických stanic ze sítě měřících objektů ČHMÚ. Dlouhodobé vláhové poměry na území ČR jsou reprezentovány vláhovou bilancí travního porostu. K výpočtům v denním kroku byl použit model AVISO, který je v provozu na ČHMÚ, pobožce Brno.

Pro vybraná období byla prokázána vzájemná souvislost mezi vláhovou bilancí a vertikálním profilem. Se vzrůstající nadmořskou výškou vzrůstají úhrny vláhové bilance, tzn. zvyšují se rozdíly mezi srážkami a evapotranspirací. Analýza vláhových podmínek byla dále provedena pro předem vybrané nížinné územní celky (jižní a střední Morava, Polabí a Poohří), vyznačující se v průběhu roku alespoň po určitou dobu nedostatkem srážek a vyššími evapotranspiračními hodnotami.

Poděkování

Článek vychází z výsledků projektu Ministerstva školství a tělovýchovy ČR „Modelový projekt zamezení biologické degradace půd v podmínkách aridního klimatu“, 2B08020.

Použitá literatura

- COUFAL, L., LANGOVÁ, P., MÍKOVÁ, T.: Meteorologická data na území ČR za období 1961-90. Národní klimatický program ČSFR, ČHMÚ Praha 1992, sv. 8, 160 s.
- GARDNER, C. M. K., FIELD, M.: An evaluation of the success of MORECS, a meteorological model, in estimating soil moisture deficits. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam 1983, Agricultural Meteorology, 1983, 29, p. 269-284.
- HOUGH, M., JONES, R. J.: The United Kingdom Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS version 2.0 - an overview. Hydrology and Earth System Sciences, 1997, 1(2), p. 227-239.
- HOUGH, M., PALMER, S., WEIR, A., LEE, M., BARRIE, I.: The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS version 2.0. Meteorological Office Bracknell, Meteorological Office Wolverhampton, Bracknell 1997, 82 p.
- KOHUT, M.: Modelování vláhové bilance. Úroda, 2003, 51(6), s. 15-17.
- KOHUT, M.: Vláhová bilance zemědělské krajiny (textová část). Doktorská disertační práce. 128 str., Brno 2007.
- KOHUT, M.: Vláhová bilance zemědělské krajiny (tabelární, grafické a mapové přílohy). Doktorská disertační práce. 164 str., Brno 2007.
- KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J.: Potenciální vláhová bilance v letech 2000 až 2003. In: Sborník abstraktů z mezinárodní vědecké konference „Zmeny podnebia – extrémny počasia – organizmy a ekosystémy“, Viničky, 23.8.-26.8.2004. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2004, s. 37, CD-ROM.
- KOTT, I.: Vláhová bilance na území České republiky v letech 1974-1990. Sborník prací ČHMÚ, 1992, sv. 42, 125 s.
- THOMPSON, N., BARRIE, I. A., AYLES, M.: The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS. Hydrological Memorandum, Bracknell 1981, No. 45, 71 p.