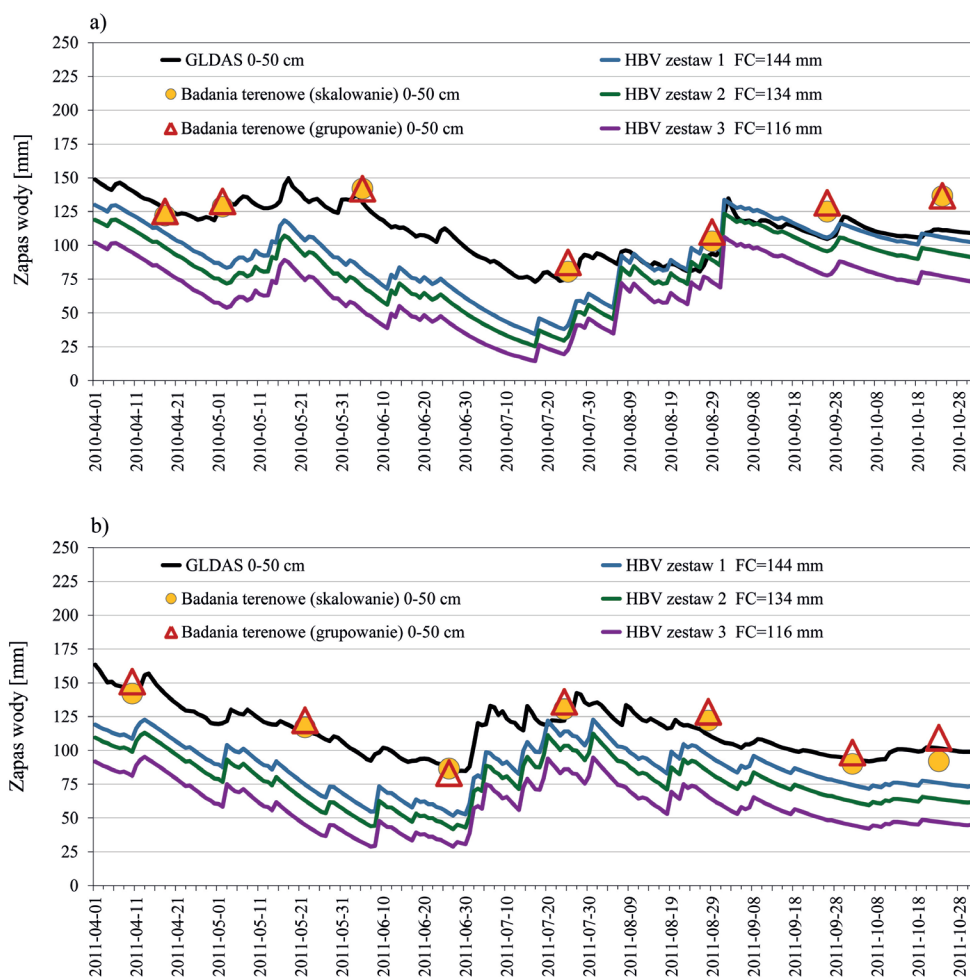
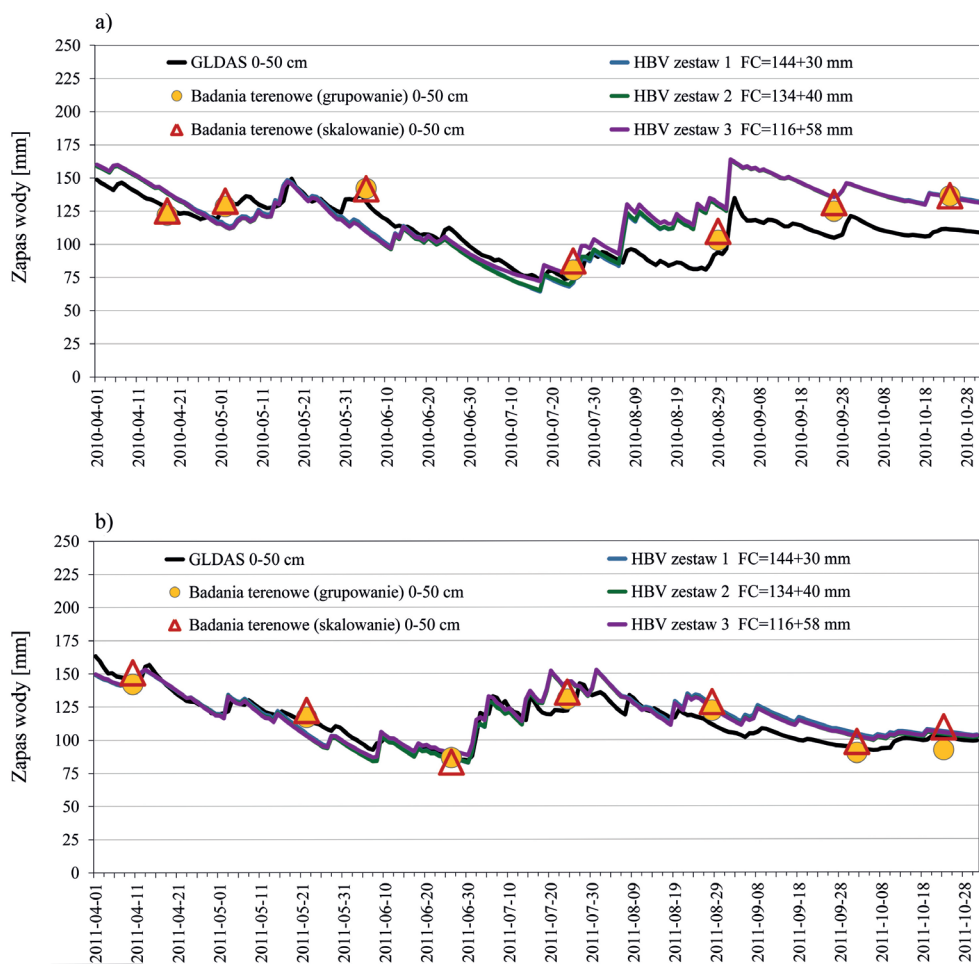


do maksymalnej wartości określonej parametrem FC . Parametr ten jest utożsamiany z połową pojemnością wodną z tą różnicą, że jego wartość nie może zostać przekroczona. W rzeczywistym systemie strefy aeracji istnieje możliwość przekroczenia stanu połowej pojemności wodnej. Parametry modelu HBV ustalane są metodą optymalizacyjną, a nie na podstawie danych empirycznych. Z tego względu konieczna jest interpretacja uzyskanych wyników, której dokonano na podstawie danych z badań terenowych. Zastosowano wartości zapasu wody w strefie aeracji w warstwie 0-50 cm, określone dwoma metodami dla zlewni Liwca po profil wodowskazowy w Łochowie (rozdz. 4.5).



Rys. 5.16. Zmienność zapasu wody w strefie aeracji wg danych empirycznych, z modelu HBV oraz z bazy GLDAS w okresach badań terenowych: (a) 01.04.2010-31.10.2010, (b) 01.04.2011-31.10.2011

Rysunek 5.16 przedstawia zmienność zasobów wody wg trzech niezależnych źródeł danych w dwóch okresach badań terenowych w 2010 r. i 2011 r. Dane empiryczne oraz dane z bazy GLDAS, określające wielkość zasobów w warstwie 0-50 cm, charakteryzują się zbliżoną zmiennością. Wyraźne dopasowanie jest szczególnie widoczne w 2011 r. Pod koniec 2010 r. wartości danych GLDAS są mniejsze niż dane z badań terenowych. Dane z modelu HBV wg trzech zestawów charakteryzują się podobnym przebiegiem, ale są zaniżone w stosunku do danych empirycznych oraz danych GLDAS. Wynika to z uzyskanych w procesie kalibracji wartości parametru FC .



Rys. 5.17. Zmienność zapasu wody w strefie aeracji wg danych empirycznych, skorygowanych danych z modelu HBV oraz danych z bazy GLDAS w okresach badań terenowych: (a) 01.04.2010-31.10.2010, (b) 01.04.2011-31.10.2011

Na podstawie wartości zapasu wody wg danych z badań terenowych z szesnastu terminów określono błąd systematyczny danych z modelu HBV. Wartość błędu wyznaczono, sumując różnice między danymi w każdym terminie. Uzyskaną sumę podzielono przez liczbę terminów. Ustalono, że średni błąd danych z modelu HBV wg zestawów 1, 2 i 3 wynosi odpowiednio 30, 40 i 58 mm. Wykryte wartości błędów systematycznych przyjęto jako poprawki, dodając ich wartości do danych wyjściowych z modelu. Wyniki po zastosowaniu poprawki wykazują lepsze dopasowanie danych, co przedstawiono na rys. 5.17.

W rozdz. 6 przedstawiono analizę zmienności sezonowej i wieloletniej zasobów wodnych strefy aeracji w zlewni Liwca. Zastosowano dane z modelu HBV wg zestawu 1, skorygowane o wartość ustalonej poprawki.

6. DYNAMIKA ZASOBÓW WODNYCH STREFY AERACJI

6.1. Sezonowa zmienność zasobów wodnych strefy aeracji w latach 1980-2011

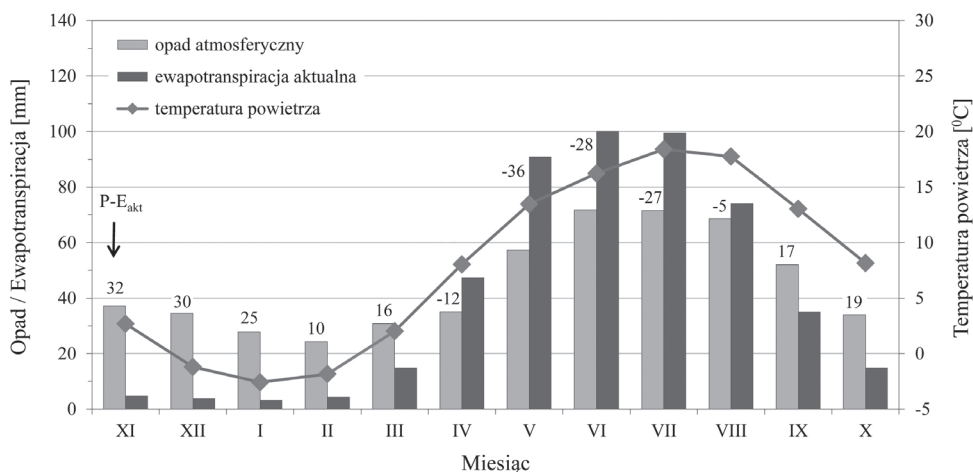
Rekonstrukcji zasobów wodnych strefy aeracji w latach 1980-2011 dokonano za pomocą modelu HBV oraz danych empirycznych (rozdz. 5). Odtworzone szeregi czasowe dobowych danych zapasu wody stanowiły podstawę oceny zmienności sezonowej warunków wilgotnościowych zlewni Liwca. W analizie wykorzystano również wartości zapasu wody pozyskane z bazy GLDAS. Oba zestawy danych określają zasobność w wodę warstwy 0-50 cm.

Sezonowa zmienność zasobów wodnych strefy aeracji jest wynikiem zmienności elementów meteorologicznych oraz zależnego od nich rytmu rozwoju roślinności. Z kolei o sezonowej dynamice elementów meteorologicznych decyduje zmienny w ciągu roku dopływ promieniowania słonecznego, wynikający z ruchu obiegowego Ziemi. Rysunek 6.1 przedstawia średnie miesięczne wartości opadu atmosferycznego i temperatury powietrza na stacji synoptycznej w Siedlcach oraz wartości ewapotranspiracji aktualnej wg danych GLDAS, obliczone z wielolecia 1980-2011. Wartości nad słupkami określają różnice między opadem a ewapotranspiracją. Średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych waha się od 24 mm w lutym do 72 mm w czerwcu i lipcu. Największe średnie sumy, przekraczające 50 mm, obserwowane są w półroczu ciepłym – od maja do września. W tym samym okresie występują duże średnie miesięczne sumy ewapotranspiracji aktualnej z największymi wartościami powyżej 90 mm w maju, czerwcu i lipcu. Od listopada do lutego nie przekraczają 5 mm. Zmienność ewapotranspiracji charakteryzuje się bardziej wyraźną sezonowością, związaną z przebiegiem temperatury powietrza oraz dynamiką roślinności. Od kwietnia do sierpnia ewapotranspiracja przewyższa opad, maksymalnie o 36 mm

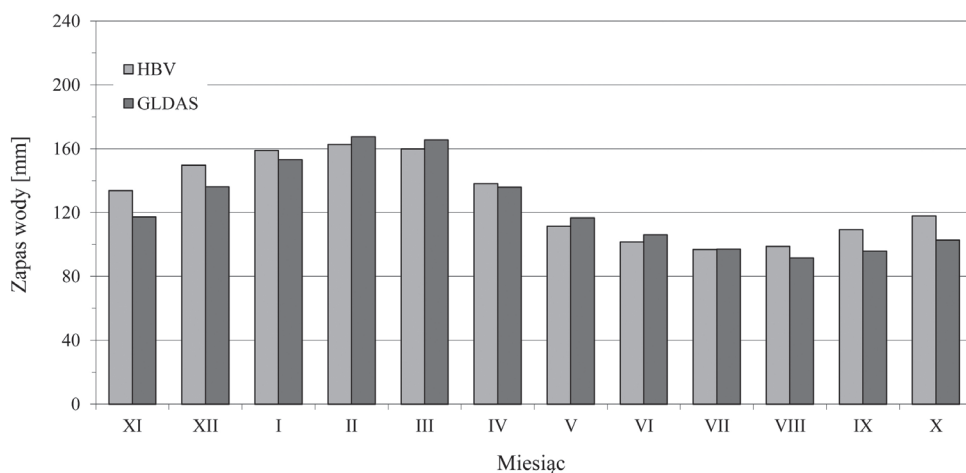
w maju. W pozostałych miesiącach jest od niego niższa. Relacje między sumą opadu atmosferycznego a sumą ewapotranspiracji również mają charakter sezonowy i decydują o kształtowaniu się zmiennych stanów retencji strefy aeracji.

Rysunek 6.2 przedstawia średnie miesięczne wartości zapasu wody strefy aeracji wg danych z modelu HBV oraz dla porównania wg danych GLDAS. Początek roku hydrologicznego charakteryzuje się stopniowym wzrostem zasobów wodnych strefy aeracji, wynikającym ze spadku parowania oraz zmniejszania się potrzeb wodnych roślin. W okresie zimowym następuje uzupełnianie zasobów wodnych w glebie, które zostały zużyte w okresie wegetacji. Największe średnie miesięczne zasoby wilgoci glebowej w warstwie 0-50 cm wystąpiły w lutym i marcu. Wynoszą one odpowiednio 163 mm oraz 160 mm. Wysokie stany retencji w tych miesiącach wynikają z zasilania strefy aeracji wodą opadową oraz z topniejącego śniegu, przy jednocześnie bardzo niskich ubytkach wody w wyniku parowania. Po jesienno-zimowej regeneracji zasobów wilgoci glebowej następuje jej stopniowe wyczerpywanie. Rozpoczyna się ono zależnie od przebiegu warunków meteorologicznych. Średnio już w kwietniu zauważalne są niższe stany retencji. Wzrost temperatury powietrza oraz rozwój roślinności przyczyniają się do wzrostu intensywności ewapotranspiracji. Prowadzi to do systematycznego zmniejszania zasobów wody w okresie letnim mimo wzrostu średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych. Najniższe stany retencji strefy aeracji występują w lipcu i sierpniu. Średni zapas wody w tych miesiącach w warstwie 0-50 cm wynosi odpowiednio 97 mm i 99 mm. Od września wraz ze spadkiem temperatury powietrza i intensywności parowania następuje wzrost retencji glebowej. Rozpoczyna się okres regeneracji zasobów wodnych strefy aeracji. Różnica między największą wartością średnią miesięczną zapasu wody (luty) a wartością najmniejszą (lipiec) wynosi 66 mm.

Do oceny sezonowych zmian zasobów wodnych strefy aeracji wykorzystano również miesięczny współczynnik zasobów wody, stosowany wcześniej przez Somorowską (2006). Jest on obliczany w analogiczny sposób, jak miesięczny współczynnik zmienności przepływu, zdefiniowany przez Pardé (1957). Średnie miesięczne wartości zapasu wody w poszczególnych miesiącach odniesiono do wartości średniej z wielolecia 1980-2011. Miesięczne współczynniki zmienności zasobów wody przedstawiono na rys. 6.3. Na początku roku hydrologicznego wartości zapasu wody w strefie aeracji są zbliżone do wartości średniej rocznej, równej 128 mm. Następnie wartość współczynnika zmienności wzrasta aż do osiągnięcia największych wartości w lutym i marcu, odpowiednio 1,27 i 1,25. Od marca wartość współczynnika systematycznie zmniejsza się, a od maja do października wartości zasobów wodnych strefy aeracji są mniejsze od średniej rocznej. Najmniejsze wartości współczynnika zapasu wody występują w lipcu (0,76).

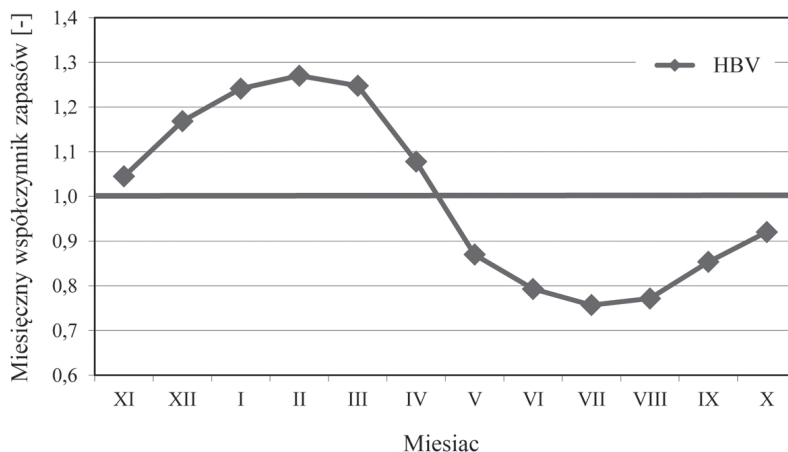


Rys. 6.1. Średnie miesięczne wartości opadu atmosferycznego, ewapotranspiracji aktualnej oraz temperatury powietrza w latach 1980-2011 oraz różnice między opadem i ewapotranspiracją aktualną ($P - E_{akt}$)



Rys. 6.2. Średnie miesięczne wartości zapasu wody w warstwie 0-50 cm w okresie 1980-2011 wg danych HBV oraz GLDAS

Przebieg miesięcznych wartości zapasu wody w poszczególnych latach może być odmienny. W wieloleciu 1980-2011 w osiemnastu przypadkach miesiącem o najwyższym średnim stanie retencji strefy aeracji w roku był luty. Styczeń osiem razy wyróżniał się najwyższą średnią, z kolei marzec – sześć razy. Większe zróżnicowanie występuje w przypadku miesięcy o najniższych średnich zasobach wodnych.

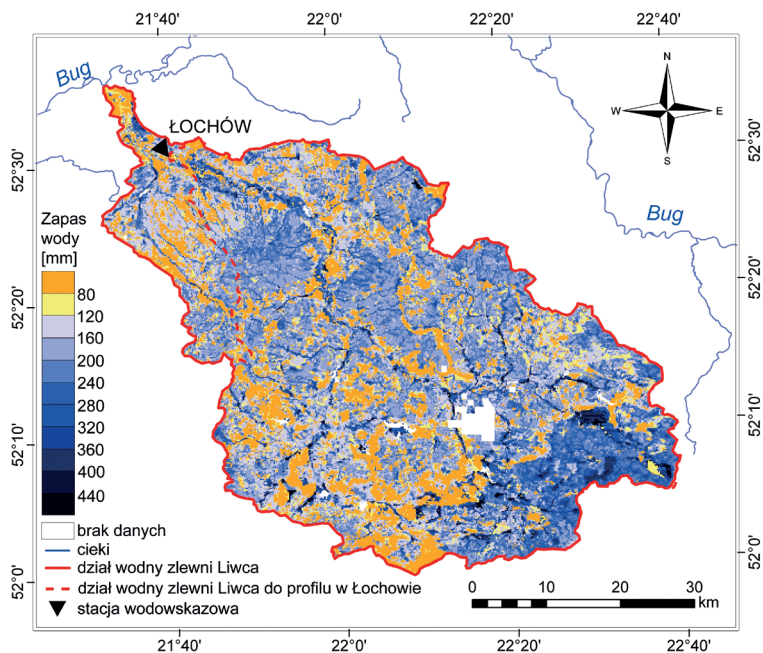


Rys. 6.3. Miesięczny współczynnik zapasów wody w warstwie 0-50 cm w okresie 1980-2011 wg danych HBV

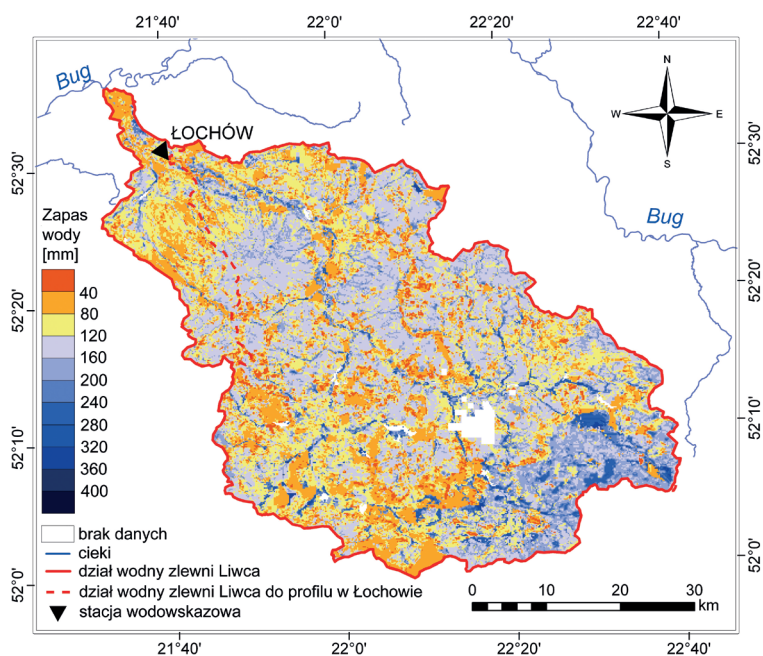
Najczęściej minimalne wartości średnie odnotowano w lipcu (10 razy), sierpniu (9 razy) oraz czerwcu (7 razy). Ponadto dwukrotnie obserwowano je we wrześniu i październiku oraz raz w maju i raz w listopadzie.

Zróznicowanie przestrzenne warunków wilgotnościowych w zlewni Liwca przedstawiono na rys. 6.4 i 6.5. Pierwszy z nich obrazuje średni zapas wody od listopada do kwietnia, drugi – od maja do października. Mapy opracowano na podstawie zaproponowanej procedury skalowania (rozdz. 3.3.3) z wykorzystaniem założeń koncepcji stabilności czasowej. Średni zapas wody w warstwie 0-50 cm w zlewni Liwca wg wyników modelowania wynosi w półroczu zimowym – 150 mm, a w półroczu letnim – 106 mm. Na podstawie tych wartości obliczono zapas wody w sześciu profilach pomiarowych, wykorzystując obliczone dla profili wartości wilgotności względnej wg równania 3.20 (rozdz. 3.3.2), przedstawione w tabl. 4.3 (rozdz. 4.3). Wilgotność względna obrazuje, o ile dany profil jest wilgotniejszy bądź suchszy od średniej obszarowej, w tym przypadku reprezentowanej przez wyniki modelowania. Dysponując wartościami dla sześciu profili pomiarowych, na podstawie wartości wskaźnika TWI_{mod3} oraz równania 3.33 (rozdz. 3.3.3), opracowano mapy zapasu wody w zlewni.

Najmniejsze wartości zaobserwowano w miejscu występowania utworów gruboziarnistych na obszarach wysoczyzn. Obszary te charakteryzują się zasobami wodnymi o wielkości ok. 70-80 mm w półroczu zimowym i ok. 60 mm w półroczu letnim. Wysokie stany retencji występują w dolinach rzecznych, gdzie zapas wody wynosi średnio od 280 do 360 mm w półroczu zimowym i od 200 do 280 mm w półroczu letnim. W półroczu zimowym średni zapas wody miejscami przekracza



Rys. 6.4. Średni zapas wody w strefie aeracji w warstwie 0-50 cm w półroczu zimowym; XI-IV



Rys. 6.5. Średni zapas wody w strefie aeracji w warstwie 0-50 cm w półroczu letnim; V-X

400 mm. Są to przede wszystkim obszary występowania torfów w południowo-wschodniej części zlewni. W półroczu letnim stan retencji tych obszarów wynosi średnio ok. 300 mm.

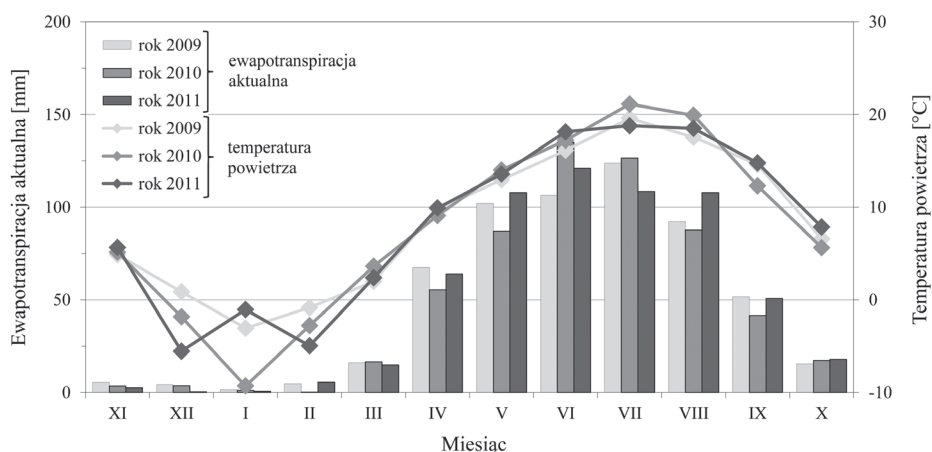
Zmienność zasobów wodnych strefy aeracji charakteryzuje się wyraźną sezonowością. Sezonowy rytm zmian obejmuje uzupełnianie zasobów w okresach jeziennym i zimowym oraz ich wyczerpywanie w okresie wiosennym, aż do przesuszania gleby w okresie letnim. W półroczu zimowym (listopad-kwiecień) występują najwyższe stany retencji, a okresowo w lutym i marcu może dochodzić do wypełnienia pojemności retencyjnej strefy aeracji. W półroczu letnim (maj-październik) wielkość zasobów jest zdecydowanie mniejsza. W miesiącach od czerwca do sierpnia, kiedy osiągają minimalną wartość, mogą odpowiadać punktowi trwałego wędnięcia. Przedstawiony sezonowy rytm zmian zasobów wodnych strefy aeracji określono na podstawie wartości z wielolecia 1980-2011. W poszczególnych latach sytuacja może być odmienna. W rozdz. 6.2 przedstawiono szczegółową analizę zmian zasobów wodnych strefy aeracji w latach 2009-2011.

6.2. Sezonowa zmienność zasobów wodnych strefy aeracji według badań terenowych

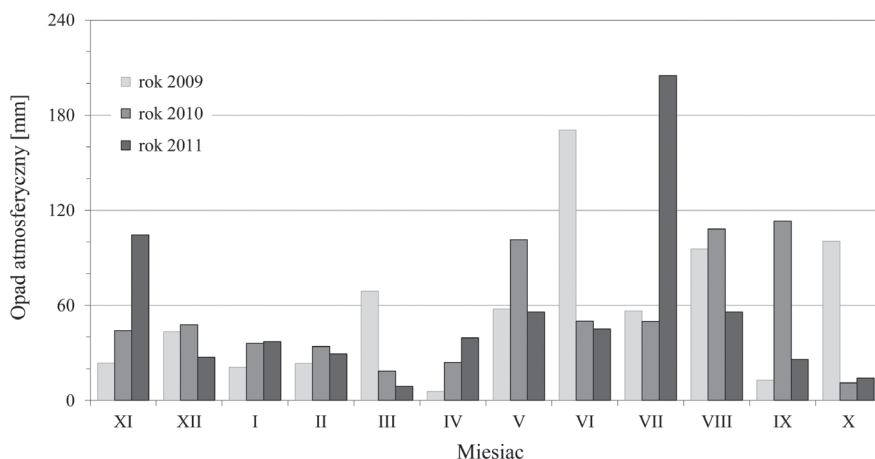
Sezonową zmienność warunków wilgotnościowych strefy aeracji analizowano również na podstawie danych pozyskanych podczas eksperymentu terenowego prowadzonego od września 2009 r. do października 2011 r. Dynamikę uwilgotnienia gleby oraz zapasów wody w sześciu warstwach gleby przedstawiono na tle zmienności parametrów meteorologicznych. Wykorzystano wartości temperatury powietrza i opadu atmosferycznego zmierzone na stacji meteorologicznej w Siedlcach oraz wartości ewapotranspiracji aktualnej pozyskane z globalnej bazy GLDAS.

Miesięczne wartości temperatury powietrza oraz ewapotranspiracji aktualnej w latach hydrologicznych 2009-2011 przedstawiono na rys. 6.6. Rysunek 6.7 przedstawia natomiast miesięczne sumy opadu atmosferycznego. W tabl. 6.1 przedstawiono miesięczne sumy opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji aktualnej oraz średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w latach hydrologicznych 2009-2011 na tle średnich miesięcznych wartości z wielolecia 1980-2011.

Średnia roczna temperatura powietrza w badanych latach była zbliżona do średniej rocznej obliczonej dla wielolecia 1980-2011 (rozdz. 6.1). Analizując średnie miesięczne wartości należy zauważyć, że w miesiącach wykonywania pomiarów były one zazwyczaj większe od średnich z wielolecia. Niższa temperatura była jedynie w okresach chłodniejszych: w październiku 2009 r., w listopadzie, wrześniu



Rys. 6.6. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i miesięczne sumy ewapotranspiracji aktualnej w latach hydrologicznych 2009-2011



Rys. 6.7. Średnie miesięczne sumy opadu atmosferycznego w latach hydrologicznych 2009-2011

i października 2010 r. oraz w październiku 2011 r. Sumy roczne ewapotranspiracji aktualnej w latach 2009, 2010 i 2011 były większe od średniej rocznej z okresu 1980-2011, odpowiednio o 101, 85 i 112 mm. Sumy miesięczne z wyjątkiem dwóch przypadków (listopad i maj 2010 r.) były większe od średnich miesięcznych z wielolecia. Największe różnice w stosunku do średniej zanotowano w czerwcu 2010 r. i sierpniu 2011 r. Wyniosły one odpowiednio 35 i 34 mm. Ponadto sumy roczne opadu atmosferycznego w latach hydrologicznych 2009, 2010 i 2011 były zdecydowanie większe od średnich sum z wielolecia 1980-2011, odpowiednio o 138,94 i 102 mm. Według kryterium Kaczorowskiej (1962), przy wartości normalnej rów-

nej wartości średniej z wielolecia 1980-2011, lata te można zaliczyć do wilgotnych. Rozkład opadu w ciągu roku nie był równomierny. Przykładowo w pierwszym miesiącu wykonywania pomiarów we wrześniu 2009 r. suma opadów wyniosła zaledwie 13 mm i była o 39 mm mniejsza od średniej miesięcznej września z wielolecia. Z kolei w następnym miesiącu zanotowano 101 mm opadu, przy średniej miesięcznej wartości w październiku równej 34 mm. W miesiącach wykonywania pomiarów wysokimi opadami wyróżniał się również maj, sierpień i wrzesień 2010 r. oraz lipiec 2011 r. Szczególnie deszczowy był ten ostatni, kiedy to spadło ponad 30% wartości rocznej, a suma opadu była o 133 mm większa od średniej miesięcznej tego miesiąca. Niskimi opadami cechowały się wspomniany już wrzesień 2009 r., październik 2010 r. oraz wrzesień i październik 2011 r.

Szczegółową sytuację meteorologiczną w okresie badań terenowych przedstawiono w podziale na trzy okresy badawcze: w 2009 r. (wrzesień-listopad), w 2010 r. (kwiecień-październik) oraz w 2011 r. (kwiecień-październik). Rysunek 6.8 przedstawia dobowe wartości opadów atmosferycznych, ewapotranspiracji aktualnej i temperatury powietrza w trzech okresach badawczych. Strzałkami oznaczono terminy pomiarów. Ponadto w tabl. 6.2 zestawiono sumy opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji aktualnej, a także różnice między nimi w ciągu 5 dni oraz doby przed terminem, w którym wykonano pomiar.

Tablica 6.1

Sumy miesięczne opadu atmosferycznego (P) i ewapotranspiracji aktualnej (E_{akt}) oraz średnie miesięczne wartości temperatury powietrza (T) w okresach badawczych 2009 r., 2010 r. i 2011 r. na tle średnich miesięcznych z wielolecia 1980-2011

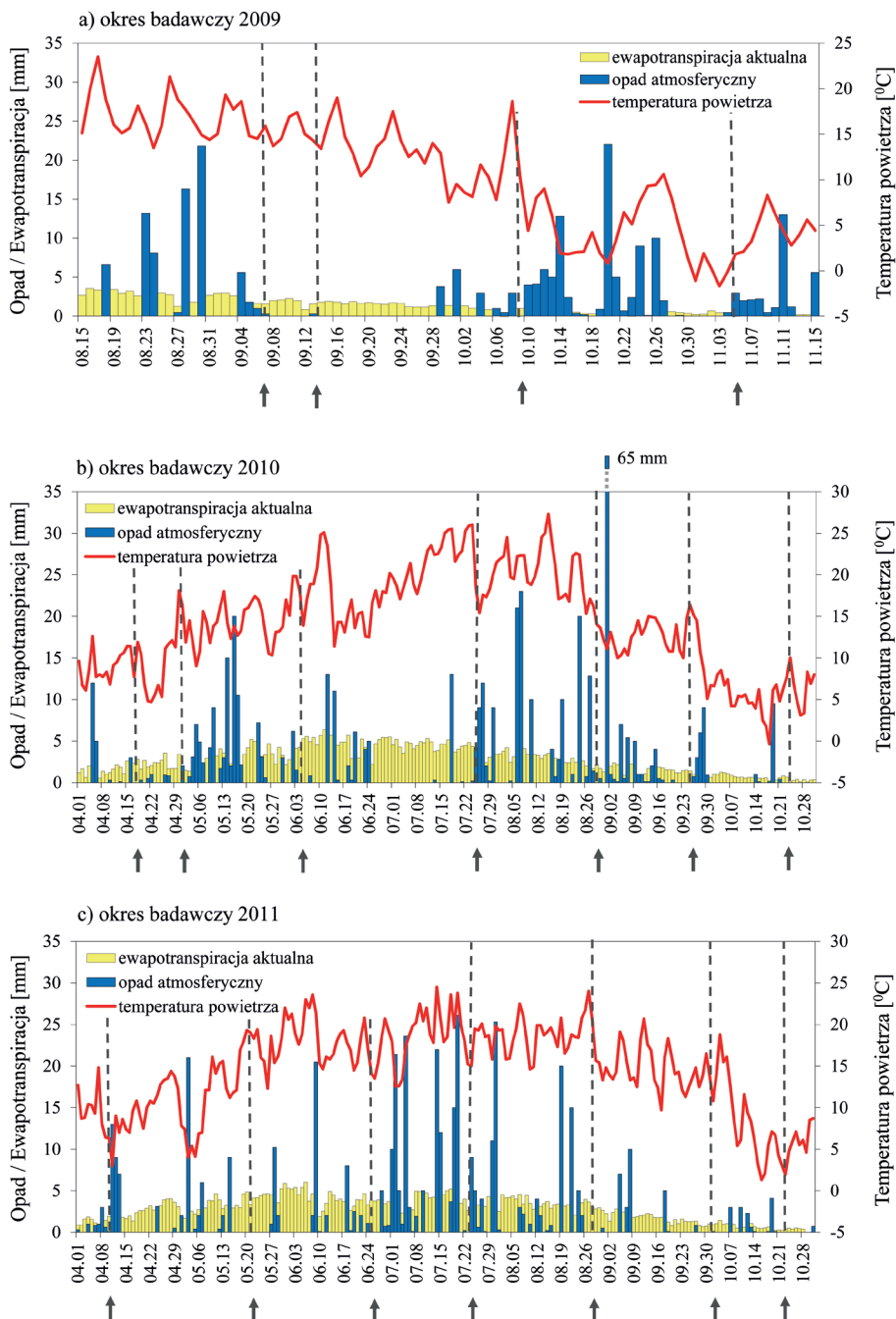
	Miesiąc											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Rok 2009												
P [mm]	24	44	21	23	69	6	58	171	57	96	13	101
E_{akt} [mm]	6	4	2	5	16	67	102	107	124	92	52	16
T [°C]	4,9	0,9	-3,1	-0,8	2,0	9,8	13,0	16,1	19,6	17,5	14,6	6,6
Rok 2010												
P [mm]	44	48	36	34	19	24	102	50	50	108	113	11
E_{akt} [mm]	4	4	1	0	17	55	87	135	127	88	42	17
T [°C]	5,1	-1,8	-9,3	-2,8	3,6	9,1	14,0	17,2	21,2	19,9	12,3	5,6
Rok 2011												
P [mm]	104	27	37	29	9	39	56	45	205	56	26	14
E_{akt} [mm]	3	0	1	6	15	64	108	121	109	108	51	18
T [°C]	5,7	-5,5	-1,0	-5,0	2,4	9,9	13,6	18,1	18,8	18,5	14,8	7,9
1980-2011												
P [mm]	37	34	28	24	31	35	57	72	72	69	52	34
E_{akt} [mm]	5	4	3	4	15	47	91	100	99	74	35	15
T [°C]	6,7	-1,2	-2,6	-1,8	2,0	8,0	13,5	16,2	18,4	17,8	13,0	8,2

Tablica 6.2

Suma opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji aktualnej oraz różnica między opadem i ewapotranspiracją ($P - Ep$) w ciągu 5 dni oraz dobę przed terminem pomiarowym

Termin pomiarów	Opad atmosferyczny P [mm]		Ewapotranspiracja aktualna Ep [mm]		$P - Ep$ [mm]	
	Liczba dni przed pomiarem					
	5	1	5	1	5	1
06.09.2009	7	2	12	2	-5	0
13.09.2009	0	0	9	1	-9	-1
10.10.2009	5	0	4	1	1	-1
08.11.2009	8	2	1	0	7	2
18.04.2010	3	0	10	2	-7	-2
02.05.2010	3	2	10	1	-7	1
05.06.2010	8	0	17	4	-9	-4
25.07.2010	0	0	22	4	-22	-4
29.08.2010	35	1	10	2	25	-1
26.09.2010	0	0	7	1	-7	-1
24.10.2010	10	0	2	1	8	-1
10.04.2011	5	1	7	1	-2	0
22.05.2011	0	0	19	3	-19	-3
26.06.2011	3	0	20	4	-17	-4
24.07.2011	41	0	18	3	23	-3
28.08.2011	7	0	17	4	-10	-4
02.10.2011	1	0	5	1	-4	-1
23.10.2011	4	0	2	0	2	0

Zmienność warunków meteorologicznych w okresie badawczym w 2009 r. przedstawia rys. 6.8a. W tym okresie średnia dobową temperatura powietrza stopniowo obniżała się od ok. 20°C do ok. 5°C. Wyrazne ochłodzenie pojawiło się 10 października, kiedy temperatura spadła poniżej 5°C, a w pierwszych dniach listopada dwukrotnie spadła poniżej 0°C. Zależna od temperatury ewapotranspiracja aktualna miała podobny przebieg. Zmniejszała się od wartości ok. 3-4 mm na dobę w drugiej połowie sierpnia do wartości 0 mm w połowie października. Opady w tym okresie były nieregularne. Przed pierwszym terminem pomiarowym w drugiej połowie sierpnia pojawiały się często. Z kolei we wrześniu spadło zaledwie 13 mm deszczu. W analizowanym okresie od 15 sierpnia do 15 listopada suma opadu wyniosła 211 mm, a suma ewapotranspiracji – 117 mm.



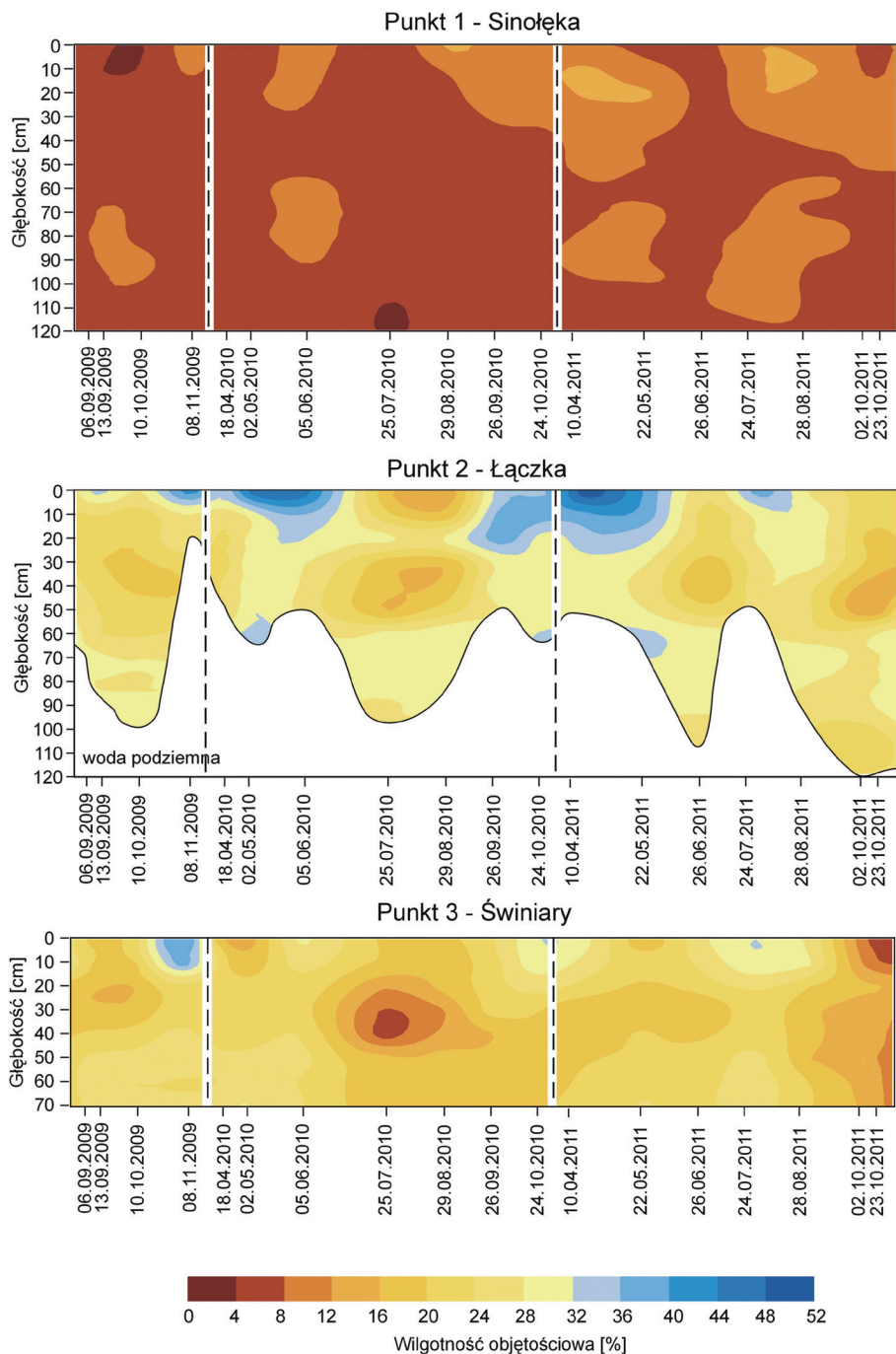
Rys. 6.8. Przebieg warunków meteorologicznych w okresach badawczych: (a) 2009, (b) 2010, (c) 2011 wraz z zaznaczonymi (strzałkami) terminami pomiarów uwilgotnienia profili glebowych

W okresie badawczym w 2010 r. średnia dobowa temperatura powietrza zmieniła się w zakresie od $-0,4^{\circ}\text{C}$ do $27,3^{\circ}\text{C}$ (rys. 6.8b). Zauważalne są znaczne spadki temperatury występujące w krótkim okresie, przykładowo od $25,1^{\circ}\text{C}$ do $11,4^{\circ}\text{C}$ w ciągu trzech dni w czerwcu. Wartości ewapotranspiracji aktualnej wahały się od 0 mm do 6 mm na dobę. Największe wartości wystąpiły w czerwcu. Analizowany okres charakteryzował się wysokimi opadami atmosferycznymi, obserwowanymi przede wszystkim w maju, sierpniu i wrześniu. Największą dobową sumę opadu – 65 mm, zanotowano 1 września. Dłuższy okres bez opadu trwał od 25 czerwca do 12 lipca. Od maja do października 2010 r. zanotowano w sumie 551 mm opadu, przy sumie ewapotranspiracji aktualnej równej 458 mm.

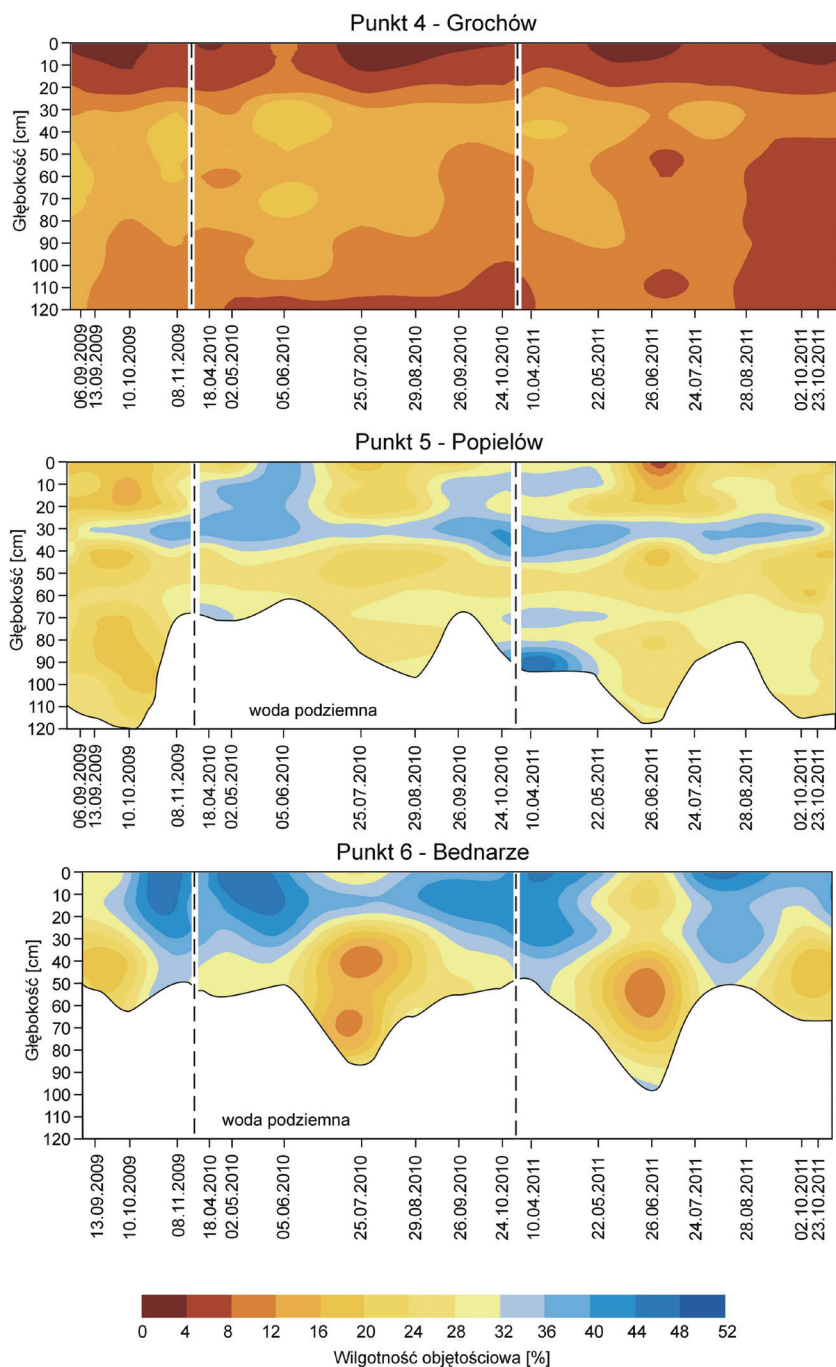
W okresie badawczym w 2011 r. średnia dobowa temperatura powietrza miała bardziej wyrównany przebieg niż w okresie poprzednim (rys. 6.8c). Jej wartości zmieniały się w zakresie od $1,3^{\circ}\text{C}$ do $24,5^{\circ}\text{C}$. Dobowe sumy ewapotranspiracji aktualnej na początku kwietnia wynosiły ok. 1 mm, na początku czerwca osiągnęły maksymalne wartości powyżej 5 mm, a pod koniec października spadły do 0 mm. Opady w tym okresie były wysokie. Suma dobowa osiem razy przekroczyła 20 mm. W okresie badawczym w 2011 r. od kwietnia do października zanotowano większą sumę opadu atmosferycznego (578 mm) oraz mniejszą sumę ewapotranspiracji aktualnej (441 mm) niż w okresie poprzednim.

Czasową dynamikę uwilgotnienia profili glebowych zobrazowano za pomocą chronoizoplek na rys. 6.9 i 6.10. Okres badawczy w 2009 r. rozpoczął się we wrześniu stosunkowo niskim uwilgotnieniem, spowodowanym ubytkami wilgoci w okresie letnim. We wrześniu zanotowano bardzo niewielką sumę opadu, co przy stosunkowo intensywnym parowaniu przyczyniło się do deficytów wilgoci glebowej. 10 października pomierzono najmniejsze wartości wilgotności objętościowej gleby w tym okresie badawczym i jedno z najmniejszych w ponad dwuletnim okresie badań terenowych. Po tym terminie rozpoczął się czas uzupełniania retencji strefy aeracji. Intensywne opady deszczu, przekraczające w październiku prawie trzykrotnie wartość średnią miesięczną w wieloleciu, a także spadek parowania, spowodowały znaczny wzrost wilgotności gleby. 8 listopada wilgotność była szczególnie wysoka. W profilach Łączka, Świniary, Grochów i Bednarze zanotowano wówczas największą ze wszystkich terminów pomiarowych średnią wilgotność objętościową w warstwie 0-50 cm.

W kwietniu 2010 r. uwilgotnienie profili glebowych było stosunkowo wysokie. Odwrotnie niż w przypadku typowego rytmu rocznego, kiedy od marca obserwowany jest spadek zasobów wodnych, w kolejnych terminach pomiarowych uwilgotnienie wzrastało. W dniu 5 czerwca pomierzono największą wilgotność objętościową tego okresu badawczego dla profili Świniary, Grochów, Popielów i Bednarze. Podwyższone zasoby wilgoci glebowej były wynikiem intensywnych opadów w maju.



Rys. 6.9. Chronoizoplety wilgotności gleby profili Sinołęka, Łączka i Świniary



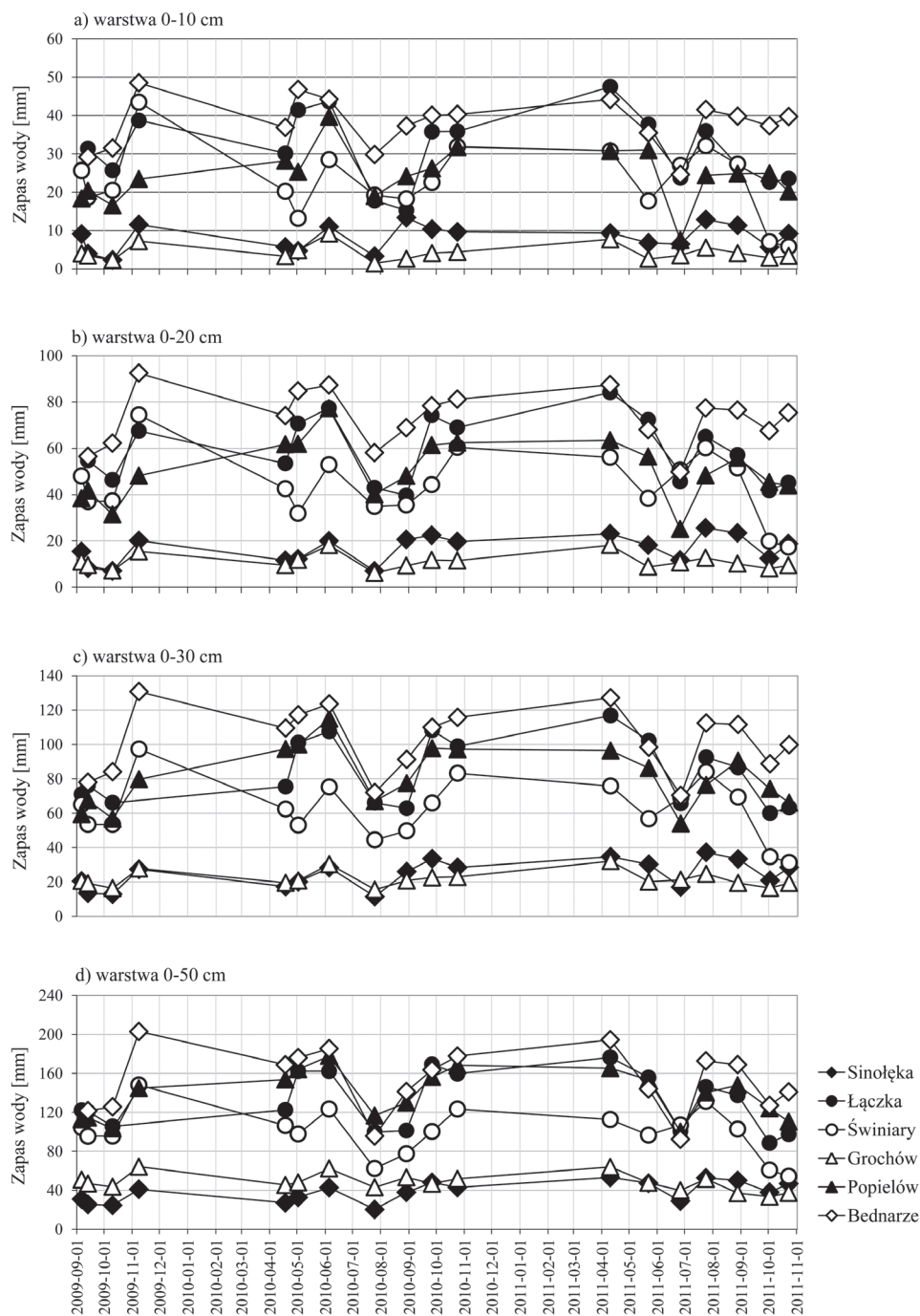
Rys. 6.10. Chronozoplety wilgotności gleby profili Grochów, Popielów i Bednarze

Pojemność retencyjna zlewni była w dużym stopniu wypełniona. Podobną sytuację zaobserwowano wówczas w wielu regionach kraju, czego skutkiem były wezbrania oraz powodzie. Pod koniec lipca uwilgotnienie gleby znacznie spadło. Od 25 czerwca do 12 lipca nie wystąpił opad deszczu, a proces parowania przyczynił się do ubytków wody. W dniu 25 lipca zanotowano najniższą wilgotność objętościową w 2010 r. W okresie 5 dni poprzedzających pomiar zanotowano największą sumę ewapotranspiracji – 22 mm w stosunku do wartości obliczonych dla pozostałych terminów. Znaczny wzrost uwilgotnienia zaobserwowano już podczas badań pod koniec sierpnia. W ciągu pięciu dni poprzedzających pomiar 29 sierpnia spadło 35 mm deszczu. Rozpoczęcie uzupełniania retencji strefy aeracji nastąpiło wcześniej niż średnio w wieloleciu 1980-2011. Do końca okresu badawczego, we wrześniu i październiku, obserwowano stopniowy wzrost uwilgotnienia.

Początek okresu badawczego w 2011 r. charakteryzował się dużymi zasobami wilgoci glebowej. Były one stopniowo wyczerpywane w wyniku wzrostu intensywności ewapotranspiracji w kolejnych miesiącach. Opady w kwietniu i maju tego roku były zbliżone do średnich miesięcznych w wieloleciu, a w czerwcu były o 26 mm niższe od wartości średniej. W dniu 26 czerwca zaobserwowano najniższy stan retencji strefy aeracji tego okresu badawczego. W przypadku profili Popielów i Bednarze zanotowano wówczas najniższe uwilgotnienie ze wszystkich terminów badań terenowych. W kolejnych miesiącach retencja była uzupełniana intensywnymi opadami. W lipcu spadło 205 mm deszczu, co stanowiło prawie trzykrotność średniej sumy opadu w tym miesiącu. Pięć dni przed pomiarem, 24 lipca, spadło 41 mm deszczu. Znaczny wzrost retencji został prawdopodobnie zahamowany we wrześniu, kiedy opady były niewielkie, a ewapotranspiracja jeszcze stosunkowo wysoka. Pomiary w październiku wskazują na mniejsze zapasy wilgoci glebowej.

W kolejnych terminach pomiarowych, w profilach Łączka, Popielów i Bednarze, obserwowano zmiany położenia zwierciadła wody podziemnej, co również przedstawiono na chronoizopletach (rys. 6.9 i 6.10). Najpłycej zwierciadło wody podziemnej znajdowało się w profilu Bednarze. W terminach badań położone było na głębokości od 50 cm 8 listopada 2009 r. i 28 sierpnia 2011 r. do 92 cm w dniu 26 czerwca 2010 r. W profilu Popielów zwierciadło wody podziemnej było położone nieco głębiej, od 62 cm 5 czerwca 2010 r. do 123 cm 10 października 2009 r. Z kolei w profilu Łączka zaobserwowano największe wahania głębokości do wody podziemnej, w zakresie od 20 cm 8 listopada 2009 r. do 124 cm 2 października 2011 r.

Zmienność czasową zapasów wody w warstwach: 0-10 cm, 0-20 cm, 0-30 cm i 0-50 cm przedstawiono na rys. 6.11. W tabl. 6.3 zestawiono zapas wody w warstwie profilu 0-50 cm w każdym terminie pomiarowym. Zapas wody w warstwach obliczono na podstawie pomiarów wilgotności objętościowej zgodnie z równania-



Rys. 6.11. Zapas wody w warstwach profilu: (a) 0-10 cm, (b) 0-20 cm, (c) 0-30 cm, (d) 0-50 cm

mi 3.10-3.13 z rozdz. 3.3.1. Zakresy zmian zasobów wody w poszczególnych warstwach profili przedstawiono wcześniej w rozdz. 4.2.

Dynamika zasobów wody strefy aeracji jest zbliżona do dynamiki wilgotności objętościowej. Ponadto w poszczególnych warstwach zmienność zasobów wody kształtuje się podobnie. Najmniejsze zapasy wilgoci występowały w terminach letnich – 25 lipca 2010 r. oraz 26 czerwca 2011 r. Jednak należy zauważyć, że nie każdy profil w każdej warstwie wyróżniał się wówczas najmniejszymi zasobami wodnymi. Natomiast największymi zasobami wody charakteryzowały się profile w terminie wiosennym – 10 kwietnia 2011 r., letnim – 5 czerwca 2010 r. oraz jesiennym – 8 listopada 2009 r.

Na podstawie wyników pomiarów terenowych, stosując zaproponowaną w rozdz. 3.3.3 procedurę, opracowano mapy średniego zapasu wody w warstwie 0-50 cm oraz obliczono średni stan retencji zlewni w terminach pomiarów wiosennych (kwiecień-maj), letnich (lipiec-sierpień) oraz jesiennych (wrzesień-listopad).

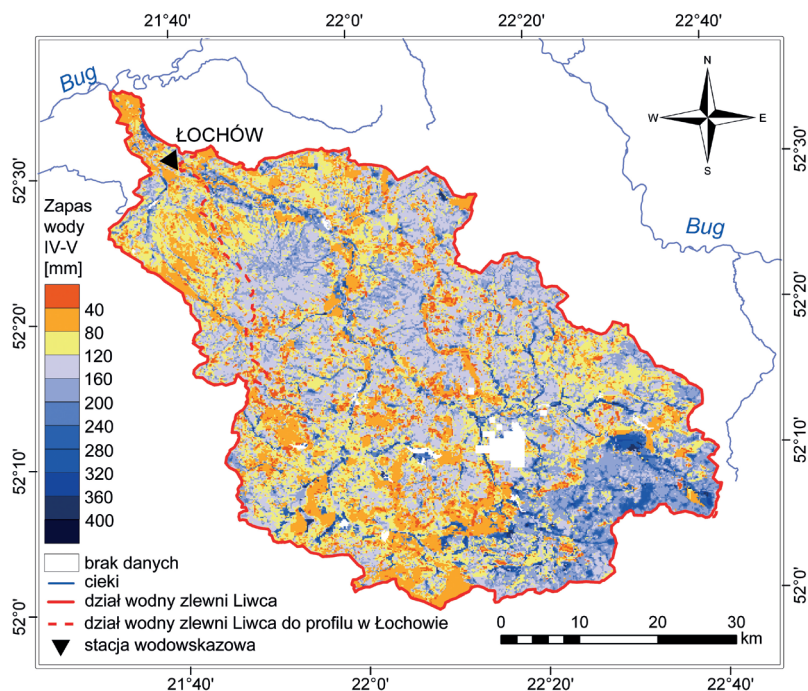
Tablica 6.3

Zapas wody w warstwie 0-50 cm w kolejnych terminach pomiarowych

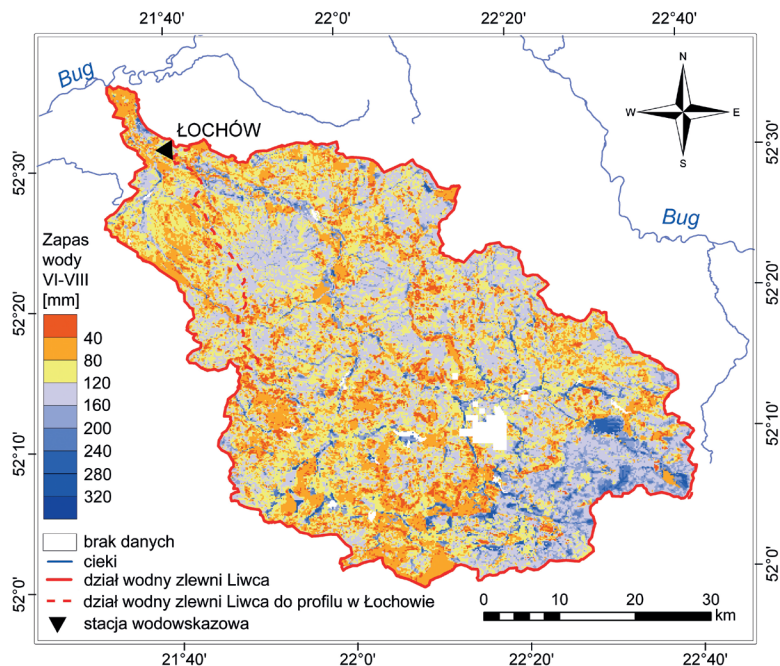
Termin pomiarowy	Zapas wody w warstwie 0-50 cm [mm]					
	Sinołka	Łączka	Świniary	Grochów	Popielów	Bednarze
06.09.2009 r.	31	122	104	51	113	-
13.09.2009 r.	25	121	96	47	115	122
10.10.2009 r.	25	106	96	44	103	126
08.11.2009 r.	41	-	148	64	145	203
18.04.2010 r.	27	123	107	45	154	169
02.05.2010 r.	33	162	98	48	164	176
05.06.2010 r.	43	162	123	62	178	185
25.07.2010 r.	20	100	62	43	117	96
29.08.2010 r.	38	101	78	53	130	141
26.09.2010 r.	48	169	100	47	156	163
24.10.2010 r.	43	160	123	52	168	178
10.04.2011 r.	53	176	113	64	165	194
22.05.2011 r.	47	156	97	48	153	144
26.06.2011 r.	29	101	107	40	100	92
24.07.2011 r.	53	146	131	52	140	173
28.08.2011 r.	50	137	103	37	148	169
02.10.2011 r.	38	89	61	33	124	127
23.10.2011 r.	47	97	54	37	110	141

Mapy dla trzech sezonów przedstawiono odpowiednio na rys. 6.12, 6.13 i 6.14. Średni zapas wody w zlewni Liwca w terminach pomiarowych w kwietniu i maju wynosił 128 mm. Według symulacji modelem HBV średni stan retencji w tych miesiącach w latach badań terenowych 2010-2011 wynosił 131 mm, a w wieloleciu 1980-2011 – 125 mm. W terminach letnich średnie zasoby wodne w zlewni były równe 109 mm. Średni zapas wody w tych miesiącach w latach 2010-2011 wg HBV wyniósł 108 mm. Z kolei w wieloleciu 1980-2011 był on o 20 mm mniejszy. Było to spowodowane dużymi sumami opadów w latach hydrologicznych 2010 i 2011 w stosunku do wielolecia, co przedstawiono na początku rozdziału. W terminach jesiennych średni stan retencji strefy aeracji wynosił 108 mm i był zbliżony do zasobów w okresie letnim. Średni zapas wody w tych miesiącach w latach 2009-2011 wg danych HBV wynosił 131 mm, a w wieloleciu 1980-2011 – 120 mm. Większe wartości zapasu wody dla okresu badań terenowych wg danych HBV wynikają z przeszacowania wartości przez model w stosunku do danych empirycznych w okresie jesiennym 2010 r. (rys. 5.17, rozdz. 5.4).

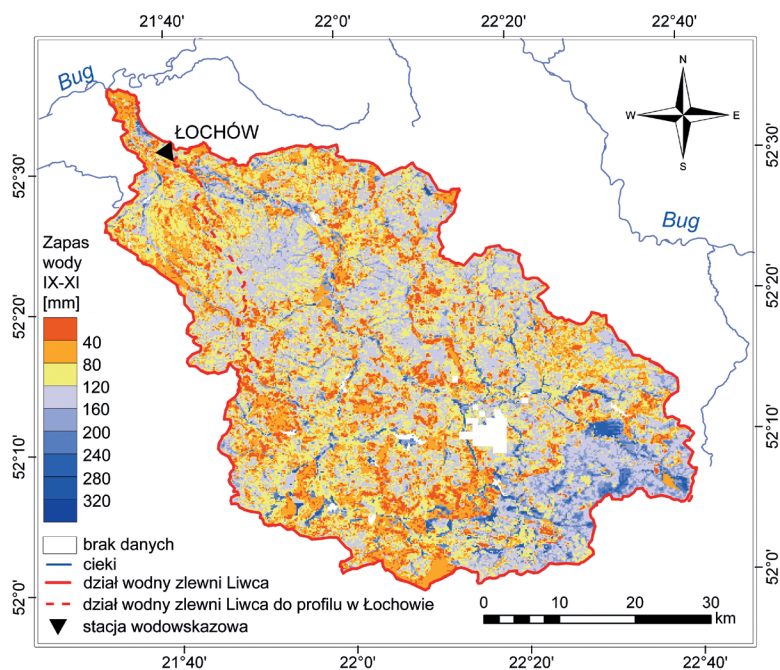
Zaobserwowana w latach 2009-2011 dynamika stanów retencji strefy aeracji odbiega od rocznego rytmu zmian, określonego na podstawie danych z wielolecia



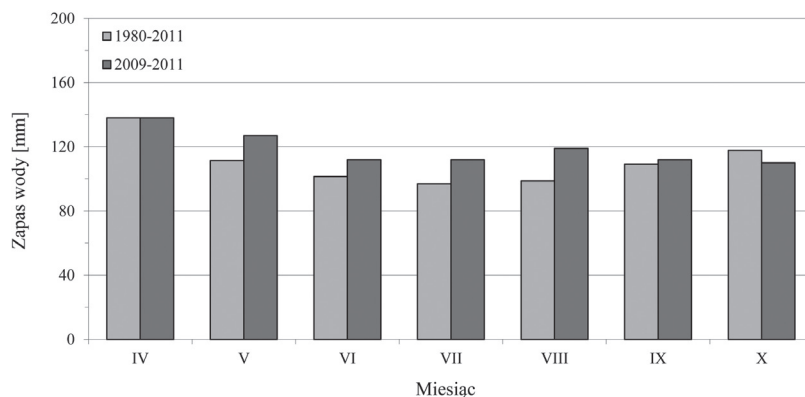
Rys. 6.12. Średni zapas wody w strefie aeracji w warstwie 0-50 cm z terminów pomiarowych w IV i V



Rys. 6.13. Średni zapas wody w strefie aeracji w warstwie 0-50 cm z pomiarów w VI, VII i VIII



Rys. 6.14. Średni zapas wody w strefie aeracji w warstwie 0-50 cm z pomiarów w IX, X i XI



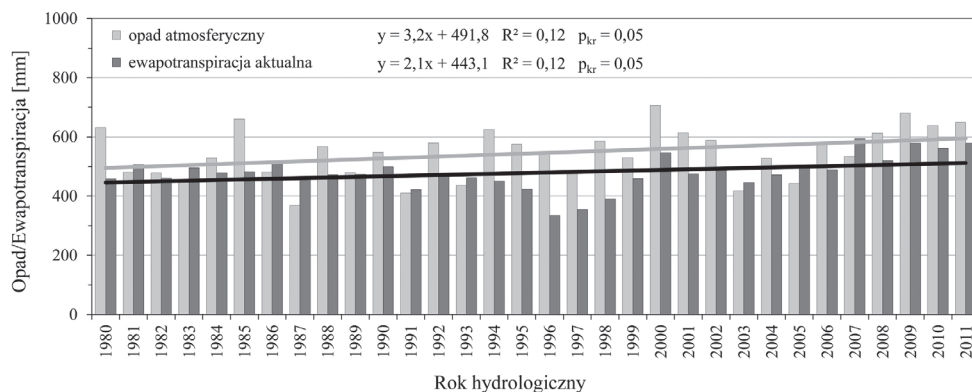
Rys. 6.15. Średnie miesięczne wartości zapasu wody w warstwie 0-50 cm w zlewni Liwca od kwietnia do października w okresie 1980-2011 wg danych HBV oraz w okresie 2009-2011 wg badań terenowych

1980-2011 (rys. 6.15). Wynika to z warunków meteorologicznych w okresie 2009-2011, przede wszystkim z większego zasilania opadem atmosferycznym. Miesięczne sumy opadu, m.in. w maju i wrześniu 2010 r. oraz w lipcu 2011 r., były znacznie większe od średnich w tych miesiącach w latach 1980-2011. Z tego powodu od maja do września zasoby wodne strefy aeracji w latach badań terenowych są większe niż średnie miesięczne z wielolecia.

6.3. Wieloletnia zmienność zasobów wodnych strefy aeracji w latach 1980-2011

Ocenę wieloletniej zmienności zasobów wodnych strefy aeracji w latach 1980-2011 przeprowadzono na podstawie zrekonstruowanych za pomocą modelu HBV zapasów wody w warstwie 0-50 cm. Przedstawiono również wieloletnie zmiany zasilania zlewni opadem atmosferycznym zmierzonym na stacji meteorologicznej w Siedlcach oraz zmiany ubytków wody w wyniku ewapotranspiracji wg danych GLDAS. Rysunek 6.16 przedstawia roczne sumy opadu atmosferycznego oraz ewapotranspiracji aktualnej w latach 1980-2011 wraz z zaznaczonymi trendami liniowymi. Trend oraz jego kierunek nie są istotne statystycznie.

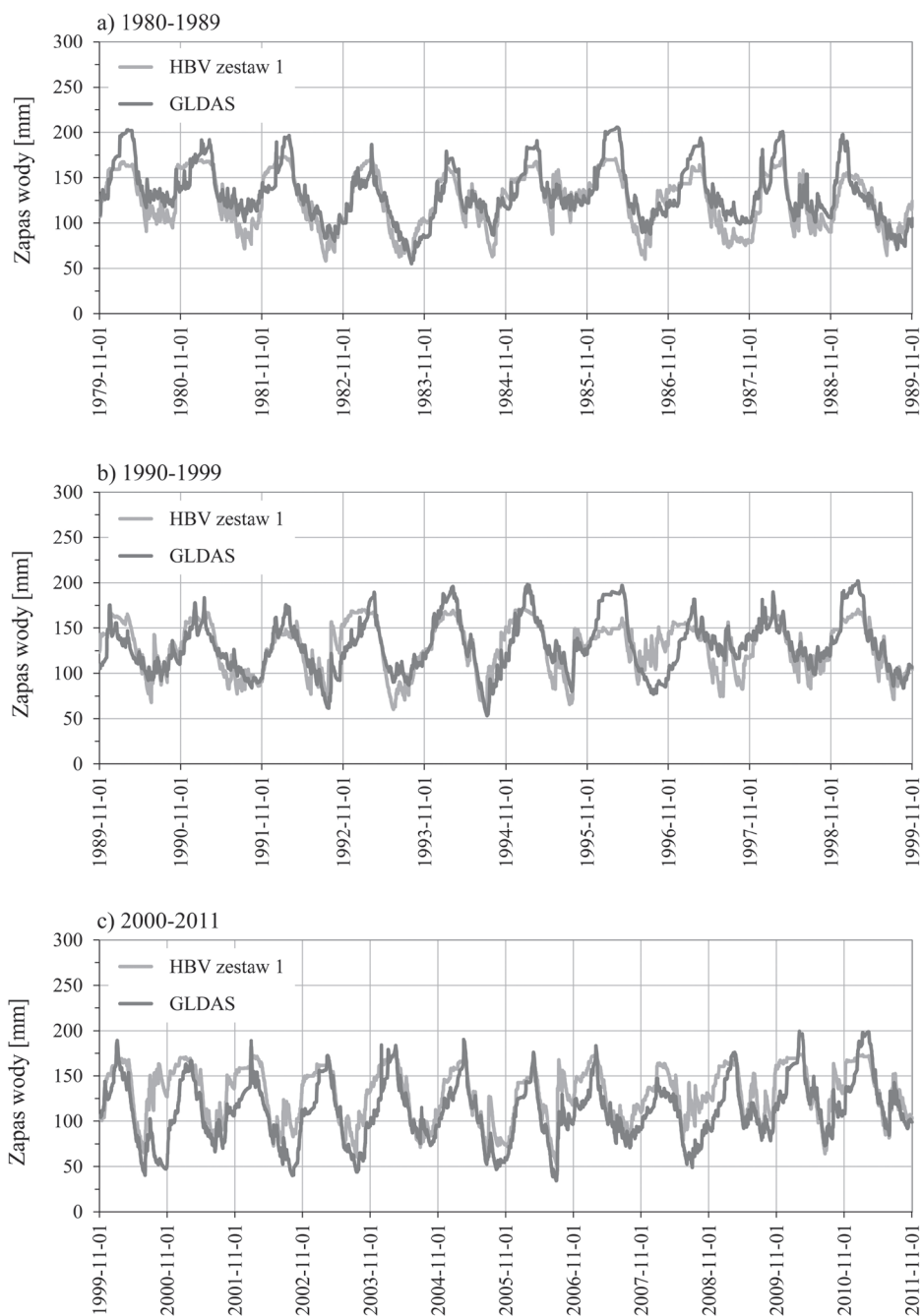
Przebieg dobowych wartości zapasu wody w okresie 1980-2011 wg danych z modelu HBV oraz danych GLDAS przedstawia rys. 6.17. Na wykresie zauważalna jest sezonowość zmian, opisana w rozdz. 6.1. Rytm zmienności zapasów wody wg dwóch serii danych jest zbliżony. Dynamikę średnich rocznych oraz półrocznych zapasów wody wraz ze średnią ruchomą 3-letnią przedstawia rys. 6.18. Do obu war-



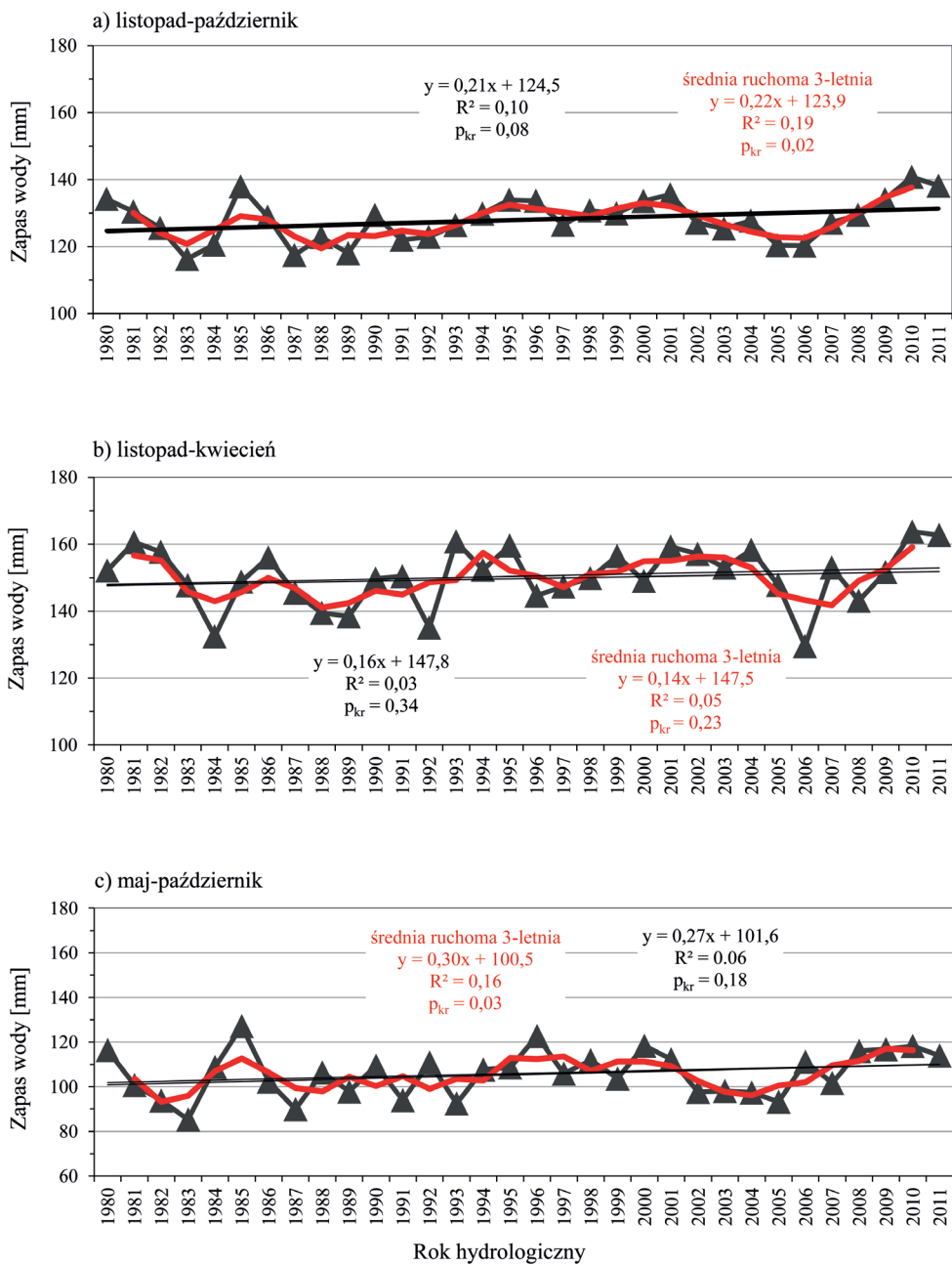
Rys. 6.16. Roczne sumy opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji aktualnej w latach 1980-2011

tości – średnich rocznych i średnich ruchomych 3-letnich, dopasowano linię trendu. Analiza nie wykazała istotnych statystycznie zmian. Nie można zatem stwierdzić, że w zlewni Liwca występuje zmniejszanie się zasobów wodnych strefy aeracji. Można natomiast zauważyć sekwencję występowania lat o wyższych i niższych stanach retencji.

W tabl. 6.4 przedstawiono średnie roczne zapasy wody odniesione do wartości średniej z wielolecia 1980-2011 i wyrażone w procentach. Ponadto przeprowadzono analizę występowania lat z nadmiarem i niedoborem opadów atmosferycznych wg kryterium Kaczorowskiej (1962). Jako wartość normalną opadów przyjęto średnią z analizowanego okresu. Początek lat osiemdziesiątych charakteryzuje się stopniowym spadkiem średnich rocznych wartości zapasu wody. Pod względem opadów atmosferycznych lata 1981-1983 zaliczono do lat suchych. W 1983 r. średnie zapasy wody były najmniejsze w całym wieloleciu. Lata 1985 i 1986 charakteryzują się większymi od średniej zasobami wilgoci glebowej. Rok 1987 był bardzo suchy pod względem opadów atmosferycznych. Zanotowano wówczas również jedno z najmniejszych zapasów wody. Rok ten dał początek dłuższemu okresowi suchemu, który trwał do 1993 r. W tym okresie tylko w 1990 r. zapas wody nieznacznie przekroczył średnią wartość. Od 1994 r. do 2001 r. wystąpił okres wilgotniejszy. Tylko w suchym 1997 r. zapas wody nie osiągnął wartości średniej. Pozostałe lata tego okresu zaliczono w czterech przypadkach do lat przeciętnych, w dwóch – do wilgotnych oraz jeden – do bardzo wilgotnego. Lata 2002-2007 to kolejny okres suchy. Pod względem opadów lata tego okresu należały do przeciętnych (4) i suchych (2). Ostatnie lata, od 2008 r., charakteryzują się dużymi średnimi zapasami wilgoci glebowej, a pod względem opadów atmosferycznych zaliczają się do lat wilgotnych.



Rys. 6.17. Dobowe wartości zapasu wody w warstwie 0-50 cm wg danych GLDAS oraz z modelu HBV w latach hydrologicznych (a) 1980-1989, (b) 1990-1999, (c) 2000-2011



Rys. 6.18. Zapasy wody w warstwie 0-50 cm w wieloleciu 1980-2011 oraz 3-letnie średnie ruchome: średnie roczne (a), średnie w półroczu zimowym (b), średnie w półroczu letnim (c)

Tablica 6.4

Średnie roczne zapasy wody wg danych HBV odniesione do średniej wartości z wielolecia 1980-2011 i wyrażone w procentach oraz klasyfikacja lat pod względem opadów atmosferycznych wg kryterium Kaczorowskiej (1962)

Rok hydrologiczny	Rok wg kryterium Kaczorowskiej (1962)	Zapasy wody wg HBV odniesiony do średniej z wielolecia 1980-2011 [%]
1980	wilgotny	105
1981	suchy	102
1982	suchy	98
1983	suchy	91
1984	przeciętny	94
1985	wilgotny	108
1986	suchy	101
1987	bardzo suchy	92
1988	przeciętny	96
1989	suchy	92
1990	przeciętny	101
1991	suchy	95
1992	przeciętny	96
1993	suchy	99
1994	wilgotny	101
1995	przeciętny	105
1996	przeciętny	104
1997	suchy	99
1998	przeciętny	102
1999	przeciętny	101
2000	bardzo wilgotny	104
2001	wilgotny	106
2002	przeciętny	99
2003	suchy	98
2004	przeciętny	100
2005	suchy	94
2006	przeciętny	94
2007	przeciętny	99
2008	wilgotny	101
2009	wilgotny	105
2010	wilgotny	110
2011	wilgotny	108