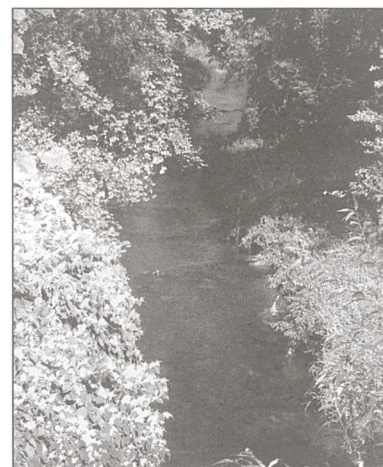
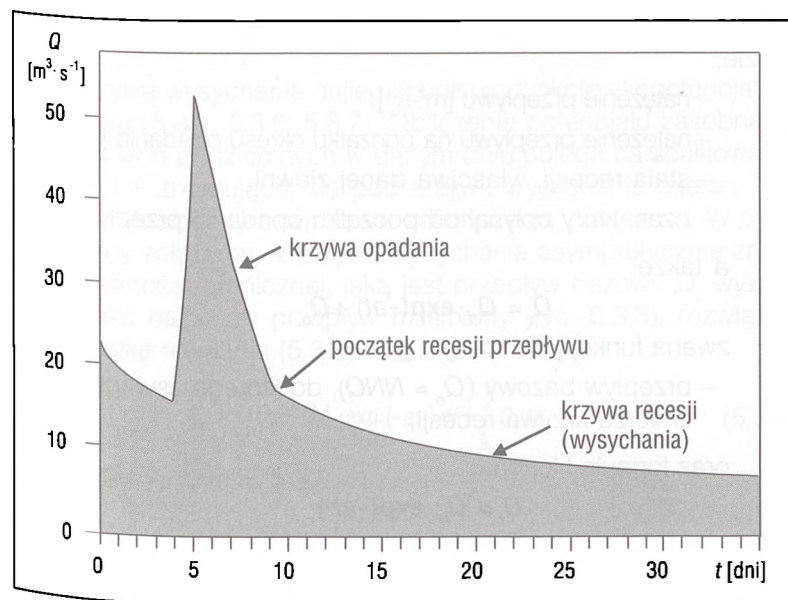


W okresie gdy rzeka pozbawiona jest zasilania pochodzącego ze splywu powierzchniowego i śródpokrywowego, a całkowita ilość wody znajdującej się w korycie pochodzi z zasilania podziemnego (patrz rozdz. 5.2), natężenie jej przepływu stopniowo maleje. Następuje stopniowe szczypanie zasobów wód podziemnych. Ilustracją tego procesu na hydrogramie jest przebieg tzw. **krzywej recesji**, który można opisać rodziną równań eksponentialnego spadku przepływów (ryc. 5.3.1). Jednym z nich jest równanie Mailleta:

$$Q_t = Q_0 \cdot \exp(-at) \quad (5.3.1)$$

gdzie:

- Q_t – natężenie przepływu w czasie t - od początku jego opadania [$m^3 \cdot s^{-1}$],
- Q_0 – natężenie przepływu na początku okresu opadania [$m^3 \cdot s^{-1}$],
- a – stała recesji, właściwa danej zlewni,
- t – czas, który upłynął od początku opadania przepływu [d].



Gdy rzeka pozbawiona jest zasilania ze splywu powierzchniowego i śródpokrywowego, całkowita ilość wody w korycie pochodzi z zasilania podziemnego (Dłubnia)

Ryc. 5.3.1. Elementy hydrogramu w czasie recesji przepływu rzeczno

Pierwotnie wzór ten posłużył Mailletowi do opisanie recesji wydajności źródeł. Później zaczęto go stosować w odniesieniu do przepływów rzecznych w fazie szczypanie zasobów wód podziemnych. Na podstawie znajomości dotychczasowego przebiegu recesji przepływu rzeki można prognozować jej przebieg w przy-

szłości, przy założeniu braku dodatkowego zasilania z roztopów lub opadu deszczu. Tym samym, możliwe jest obliczenie ilości wody wolnej, zgromadzonej w zbiornikach wód podziemnych w strefie aktywnej wymiany, która może swobodnie odpłynąć. Ilość ta zwana jest **potencjałem zasobności**. Stałą recesji przepływu oblicza się przekształcając wzór (5.3.1). Jeżeli $Q_t = Q_0 \cdot \exp(-at)$, to

$$\ln Q_t = \ln Q_0 - at \quad (5.3.2)$$

a zatem:

$$a = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_t}{t} \quad (5.3.3)$$

Zasoby wód podziemnych w danym dniu oblicza się ze wzoru:

$$V = \frac{86\,400}{a} \cdot Q_t \quad (5.3.4)$$

gdzie:

V – zasoby wód podziemnych [m^3],

Q_t – średnie natężenie przepływu w danym dniu [$m^3 \cdot s^{-1}$],

86 400 – liczba sekund w ciągu doby.

Innymi proponowanymi równaniami z rodziny równań eksponentialnego spadku przepływu są zależności:

$$Q_t = Q_0 \cdot [(1 + at)^2]^{-1} \quad (5.3.5)$$

gdzie:

Q_t – natężenie przepływu [$m^3 \cdot s^{-1}$],

Q_0 – natężenie przepływu na początku okresu opadania [$m^3 \cdot s^{-1}$],

a – stała recesji, właściwa danej zlewni,

t – czas, który upłynął od początku opadania przepływu [d],

a także:

$$Q_t = Q_0 \cdot \exp(-at) + Q_b \quad (5.3.6)$$

zwana funkcją Zuniniego, gdzie:

Q_b – przepływ bazowy ($Q_b \approx NNQ$). do którego asymptotycznie zmierza krzywa recesji,

oraz formuła Hortona:

$$Q_t = Q_0 \cdot \exp(-at^n) \quad (5.3.7)$$

gdzie:

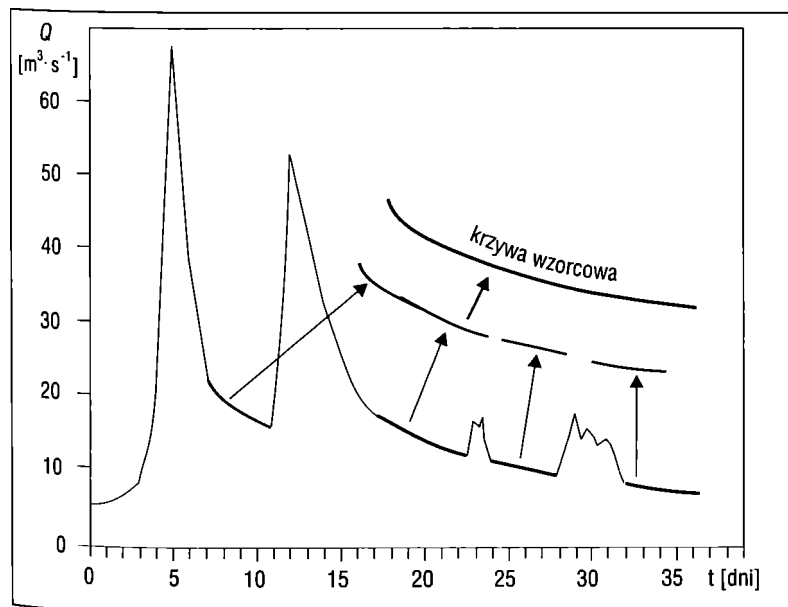
n – parametr kształtu krzywej recesji, odzwierciedlający niezmienne (stacjonarne) cechy środowiska geograficznego zlewni (np. w zlewniach rzek alpejskich $n = 0,5$).

Rzadko – jedynie w czasie wyjątkowo długich okresów bezopadowych – krzywa recesji przepływów nie jest zaburzona przez zachodzące w zlewni epizody opadowe. W przypadku licznych, choć krótkotrwałych okresów niezaburzonej recesji, możliwe jest



Źródła to naturalne wypływy wód podziemnych; ich wydajność świadczy o zasobności zbiornika wodonośnego (źródło ascenzyjne w Lelowie, dorzecze Pilicy)

skonstruowanie na podstawie n -dniowych odcinków krzywej wysychania, tzw. wzorcowej (przeciętnej) krzywej wysychania. Procedurę postępowania ilustruje ryc. 5.3.2. Uzyskaną w ten sposób wzor-



Ryc. 5.3.2. Konstrukcja wzorcowej krzywej wysychania

cową krzywą wysychania najlepiej opisują funkcje eksponentialnego spadku (5.3.1, 5.3.6, 5.3.7). Obliczenie potencjału zasobności zbiornika wód podziemnych w danym dniu polega na scalkowaniu powierzchni znajdującej się pod krzywą wysychania między tym dniem t_0 a założonym terminem zakończenia procesu t_i . W przypadku gdy założymy, iż krzywa wysychania asymptotycznie zmierza do wartości granicznej, jaką jest przepływ bazy Q_b wyznaczony jako najniższy przepływ minimalny (ryc. 5.3.3), rozwiązać należy całkę równania (5.3.6):

$$V_{dr} = \int_{t_0}^{t_i} (Q_0 - Q_b) \cdot \exp(-at_i) dt + \int_{t_0}^{t_i} Q_b dt \quad (5.3.8)$$

Objasnia to ryc. 5.3.3.

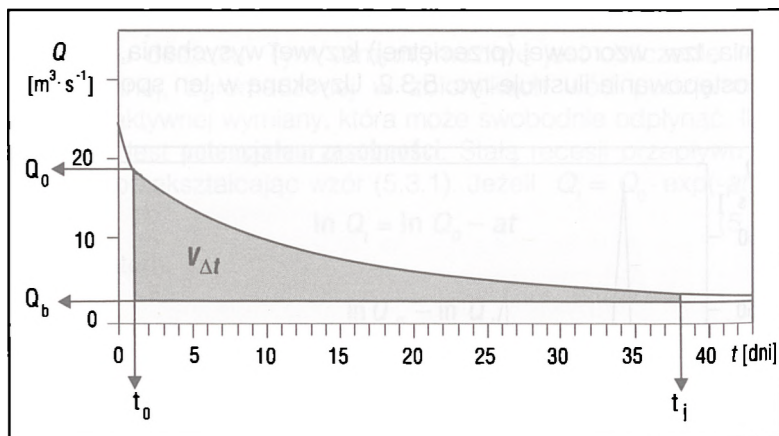
Przykład 1

Na ryc. 5.3.4 przedstawiono przebieg codziennych przepływów rzeki w okresie pozbawionym zasilania powierzchniowego i podpowierzchniowego. Oblicz stałą recesji przepływu a .

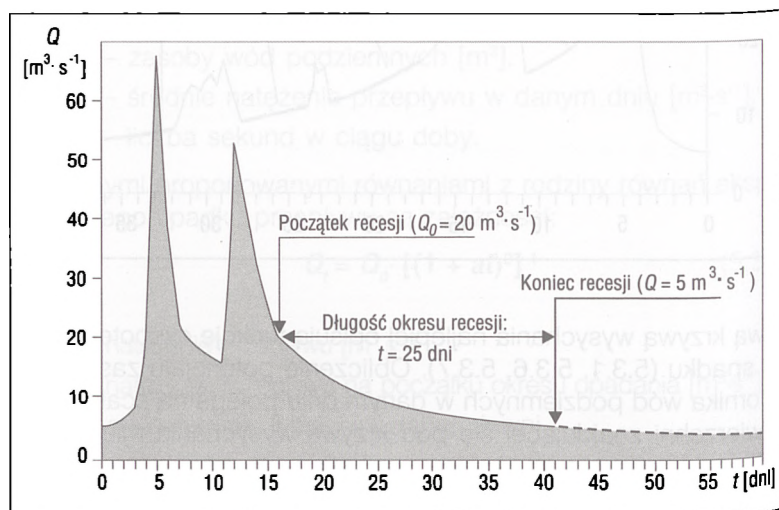
Rozwiązanie

Dla znalezienia wartości a należy wykorzystać wzór (5.3.3). Najpierw należy na podstawie ryc. 5.3.4 ustalić wartości Q_0 i Q oraz długość okresu recesji przepływu t .

Ryc. 5.3.3. Potencjał zasobności
zbiornika wód podziemnych



Ryc. 5.3.4. Ilustracja recesji
przepływu – przykład 1



$$Q_0 = 20 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]},$$

$$Q_i = 5 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]},$$

$$t = 25 \text{ [d]},$$

a następnie podstawić te wartości do wzoru (5.3.3):

$$a = \frac{\ln 20 - \ln 5}{25} = 0,055$$

Odpowiedź

Stała recesji przepływu wynosi 0,055.

Przykład 2

Oblicz, jaki byłby przepływ rzeki analizowanej w przykładzie 1, gdyby recesja przepływu trwała 50 dni.

Rozwiązanie

Należy wykorzystać wzór (5.3.1):

$$Q_t = 20 \exp(-0,055 \cdot 50)$$

$$Q_t = 20 \cdot 0,064 = 1,28 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

Odpowiedź

Przepływ rzeki po 50 dniach wynosiłby $1,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zadanie 1

Oblicz zasoby wód podziemnych czynnych w zlewni odwadnianej przez rzekę z przykładu 1, w ostatnim dniu recesji przepływu. Zasoby określ w postaci warstwy wody V [mm] przy założeniu, że obszar zlewni A wynosi 500 km^2 .

Zadanie 2

Na podstawie codziennych wartości natężenia przepływu rzeki Rudawy (Balice) w 1973 r., oblicz zasoby wodne zlewni Rudawy w ostatnim dniu roku hydrologicznego. Wykorzystaj dane z *Rocznika hydrologicznego wód powierzchniowych dorzecza Wisły i rzek Przymorza na wschód od Wisły*.

