

## WPROWADZENIE – INFORMACJE OGÓLNE

### Położenie, topografia i geografia obszaru województwa

Województwo małopolskie leży w południowej części Polski. Graniczy z województwami: śląskim, świętokrzyskim i podkarpackim. Południowym sąsiadem regionu jest Republika Słowacji. Województwo zajmuje powierzchnię 15 190 km<sup>2</sup> i jest jednym z mniejszych regionów Polski (ok. 5% powierzchni kraju – 12 miejsce). Pod względem liczby mieszkańców (3 mln 260 tys. osób) Małopolska znajduje się na czwartym miejscu w Polsce. Dlatego też gęstość zaludnienia jest jedną z najwyższych w kraju (Małopolska – 214 osób/km<sup>2</sup>, średnia krajowa – 122 osób/km<sup>2</sup>).

Ukształtowanie powierzchni terenu województwa małopolskiego jest wynikiem działania czynników geologicznych (zmiennosc fałdowa, tektonika) oraz zewnętrznych (erozja i denudacja). Wyróżniono tu szereg jednostek geograficznych, których charakter uzależniony jest głównie od rodzaju budujących je skał i ich tektoniki. Są to:

- ✓ Wyżyna Krakowska (obszary jurajskie leżące na zachód i północny zachód od Krakowa, stanowiące fragment monokliny śląsko-krakowskiej),
- ✓ Wyżyna Miechowska (obszar północno-wschodni pokryty kredowymi utworami niecki miechowskiej),
- ✓ Kotlina Sandomierska i Brama Krakowska (obszar centralny geologicznie należący do zapadliska przedkarpackiego),
- ✓ Pogórze Karpackie (obszar pomiędzy Krakowem a Myślenicami jako fragment jednostki śląskiej Karpat fliszowych),
- ✓ Beskidy (obszar na południe od Myślenic po Nowy Targ geologicznie należący do jednostki magurskiej i śląskiej Karpat fliszowych),
- ✓ Pieniny, Podhale i Tatry (obszar tzw. Karpat wewnętrznych).

### Wyżyna Krakowska

Jednostka ta zbudowana jest ze skał jurajskich silnie spękanych i skrasowiałych. Występują tu głębokie rowy tektoniczne i zapadliska, a wzniesione ponad nimi pasma zrębowe oddzielone są stromymi zboczami, często skalistymi. Wierzchowiny zrębów i wierzchowina jurajska są silnie rzeźbione i z licznymi ostańcami. Charakterystyczną formą morfologiczną są głębokie, stromościenne dolinki i parowy utworzone przez liczne potoki spływające z Wyżyny Krakowskiej. Do bardziej znanych dolin krakowskich należą: Dolina Prądnika, Bolechowicka, Kobylańska, Będkowska, Szklarki, Rudawy i Raclawki.

Wyjątkowe walory krajobrazowe tego obszaru doprowadziły do utworzenia na tym terenie (oprócz Ojcowskiego Parku Narodowego) dwóch parków krajobrazowych: Dłubniańskiego Parku Krajobra-

## INTRODUCTION AND GENERAL INFORMATION

### The Malopolska Voivodship: location, topography and geography

The Malopolska Voivodship (a *voivodship* is the highest level of administrative division in Poland) is located in southern Poland. It borders the Silesian (*Śląskie*), Holy Cross (*Świętokrzyskie*) and Fore – Carpathian (*Podkarpackie*) Voivodships, as well as the Slovak Republic. Covering an area of 15,190 km<sup>2</sup>, the Voivodship is among the smaller regions in Poland (about 5% of the country's total area). In terms of population, however, at 3,254,000, the Malopolska Voivodship occupies fourth place and its population density is among the highest in Poland (214 persons/km<sup>2</sup> versus the national average of 122 persons/km<sup>2</sup>).

The Voivodship's topography is the result of geological factors: diversity, tectonics, erosion and denudation. Several geographical units were distinguished, based mostly on rock formations and tectonics:

- ✓ the Krakow Upland (area dominated by Jurassic rocks, located west and northwest of Krakow and geologically belonging to the Silesian-Krakow monocline),
- ✓ the Miechow Upland (northeastern part, covered by the Cretaceous units of the Miechow Trough),
- ✓ the Sandomierz Depression and the Krakow Gate (central area, geologically belonging to the Carpathian Foredeep),
- ✓ the Carpathian Foreland (area between Krakow and Myślenice occupied by the Silesian Unit of the Flysch Carpathians),
- ✓ the Beskidy Mountains (area south of Myślenice up to Nowy Targ, occupied by both the Magura and Silesian units of the Flysch Carpathians),
- ✓ the Pieniny and the Tatra Mountains and Podhale (geologically belonging to the Inner Carpathians).

### The Krakow Upland

This unit includes highly fractured and karstified Jurassic carbonate formations. The area is cut by deep grabens and depressions bordered by steep-sloped horsts, commonly with vertical walls. The peneplained surfaces of these horsts and the Jurassic plain reveal a highly diversified morphology with numerous monadnocks. Characteristic morphological features are deep, steep-sloped valleys and gulches eroded by the numerous streams draining the Upland. The most popular are: Pradnik River, Bolechowice, Kobylany and Bedkowice, Szklarka River, Rudawa River and Raclawka Valleys.

The unique scenic attributes of the area have resulted in the establishment of two landscape parks: Dłubnia and the Krakow Valleys (apart from the Ojcow National Park). Moreover, the northern part of the Voivodship contains a portion of the Eagle's Nests Landscape Park. The Voivodship includes numerous nature reserves (of which several areas of strict protection). The main rivers draining the Voivodship are Vistula River tributaries: Rudawa, Pradnik-Bialucha and Dłubnia. The Jerzmanowice

zowego i Parku Krajobrazowego Dolinek Krakowskich. Ponadto północna część województwa obejmuje fragment Parku Krajobrazowego Orlich Gniazd. Wśród wymienionych parków rozrzucone są liczne rezerваты przyrody, w tym wiele ścisłych.

Główne rzeki spływające ku dolinie Wisły od strony Wyżyny Krakowskiej to Rudawa, Prądnik-Białucha oraz Dłubnia. Najwyżej położoną strefą obszaru jest rejon Jerzmanowic, gdzie wysokości osiągają rząd 500 m n.p.m. (wzniesienie „Skałka” 513 m n.p.m.), co daje deniwelację około 300 m w stosunku do Doliny Wisły w rejonie Krakowa.

### **Wyżyna Miechowska**

Obszar ten, rozciągający się na N i NE od Krakowa, zbudowany jest z miękkich margli kredowych o słabo zaburzonym pierwotnym układzie skał (odsłaniają się na powierzchni np. w rejonie Słomnik). Czynniki erozyjne wytworzyły na tym terenie głębokie i szerokie doliny o płaskich dnach i stromych, lecz pozbawionych skałek zboczach oraz kopulaste wzgórze, wznoszące się między dolinami. Zbocza dolinek pocięte są głębokimi rynnami wypełnionymi rumoszem skalnym. Całość krajobrazu jest dość monotonna, za wyjątkiem stref granicznych między jurą i kredą charakteryzujących się obecnością głęboko wciętych dolinek. Główną rzeką spływającą od strony Wyżyny Miechowskiej ku dolinie Wisły jest Szreniawa. Deniwelacja wyniesień Wyżyny Miechowskiej w stosunku do doliny Wisły wynosi średnio 130 m, przyjmując dla koryta Wisły na wschód od Krakowa średnią wysokość około 185 m n.p.m.

### **Kotlina Sandomierska i Brama Krakowska**

Chociaż obie jednostki przynależą do zapadliska przedkarpackiego, a jednocześnie tworzą dolinę Wisły, ich morfologia jest całkowicie odmienna. Strefa Bramy Krakowskiej podczas ruchów trzeciorzędowych związanych z tworzeniem zapadliska mioceniowego zachowywała się jak sztywne bryła – nie uległa zafałdowaniu, lecz popękała na bloki. Powstały wówczas zapadliska i zręby tektoniczne takie jak: rów krzeszowicki, rów Rybnej, rów Choleżyna, wał Pasternika, garb Tenczyński, zapadlisko Brodla, wzgórze Tyńca, Pychowic, Kostrza, Krzemionki Krakowskie i Podgórskie. W obszary zapadlisk wkroczyło morze mioceniowe, stąd zręby mają charakter wysp sterczących powyżej zagłębień wypełnionych osadami mioceniowymi. Wyjątkowe cechy krajobrazowe tego obszaru doprowadziły do utworzenia trzech parków krajobrazowych: Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego, Rudniańskiego Parku Krajobrazowego i Bielańsko-Tynieckiego Parku Krajobrazowego. Najwyżej wyniesioną strefę obszaru stanowi garb Tenczyński (390 m n.p.m.), podniesiony w stosunku do koryta Wisły o około 140 m.

Zupełnie odmienny charakter morfologiczny posiada strefa zapadliska na wschód od Krakowa w trójkącie Kraków-Proszowice-Bochnia. Geograficznie jest to część Kotliny Sandomierskiej o wybitnie równinnym charakterze i o średnich wysokościach około 200 m n.p.m. Znaczną część obszaru tej strefy zajmuje Puszcza Niepołomska z pięcioma rezerwatami przyrody (w tym dwa ścisłe).

### **Pogórze Karpackie**

Obszar ten geologicznie przynależy już do Karpat fliszowych. Zbudowany jest z osadów fliszowych o płaszczowinowej budowie, gdzie czynniki zewnętrzne utworzyły typowy krajobraz gór niskich. Głównymi rzekami są tutaj Skawa, Dunajec i Raba ze sztucznym Zbiornikiem Dobczyckim pomiędzy Myślenicami i Dobczycami. Obszar obfituje w liczne miejscowości o walorach turystycznych (Myślenice-Zarabie, Raciechowice, Droginia, Czasław, Dobczyce).

area has the highest elevation (the Skalka Hill stands at 513 m above sea level), which gives it a 300 m elevation over the Vistula River Valley near Krakow.

### **The Miechow Upland**

The Miechow Upland is located to the north and northeast of Krakow. The almost undisturbed, soft Cretaceous marls exposed, for example, in the vicinity of Słomniki dominate the geology of the area. Denudation has produced deep, broad valleys with flat bottoms and steep slopes lacking cliffs, and separated by dome-like hills. Deep furrows filled with rock rubble cut the valley slopes. The landscape is rather monotonous except for the border zones between the Jurassic and Cretaceous formations where deep valleys occur. The Szreniawa is the main river flowing towards the Vistula River Valley. The elevation of the Upland in relation to the Vistula River Valley is about 130 m, whereas the altitude of the latter east of Krakow is about 185 m above sea level.

### **The Sandomierz Depression and the Krakow Gate**

Both units belong to the Carpathian Foredeep and form the Vistula River Valley. Their relief, however, is different. During the Miocene orogenic movements leading to the formation of the Carpathian Foredeep, the Krakow Gate became a rigid block. Thus, it remained unfolded but was cut by dislocations into several structures – tectonic grabens and horsts among which the best-known are: Krzeszowice Graben, Rybna Graben, Cholerzyn Graben, Pasternik Ridge, Tenczynek Horst, Brodla Graben as well as Tynec, Pychowice, Kostrze, Krzemionki Krakowskie and the Krzemionki Podgórskie hills. The grabens were subsequently invaded by the Miocene sea whereas the horsts became islands towering over the Miocene sediment-filled depressions. The unique scenic values of the area have resulted in the establishment of three Landscape Parks: Tenczynek, Rudno and Bielany-Tynec. The highest altitudes occur in the Tenczyn Horst (390 m above sea level, *i.e.*, 140 m above the Vistula River table).

In the area between Krakow, Proszowice and Bochnia, the morphology of the Carpathian Foredeep changes. Geographically, this area is part of the Sandomierz Depression, a flatland at an elevation of around 200 m above sea level. The Niepołomska forest, which includes five nature reserves (of which two area of strict protection) covers a significant part of this flatland.

### **The Carpathian Foreland**

This area belongs to the Flysch Carpathians and is composed of flysch nappes. Erosion produced a landscape typical of low mountains. The main rivers are: Skawa, Dunajec and Raba, the latter includes the Dobczyce Reservoir located between the towns of Dobczyce and Myślenice. There are contains several locations of high touristic value: Myślenice-Zarabie, Radziechowice, Droginia, Czasław and Dobczyce.

### **The Beskidy Mountains**

(of which, the Makow Beskidy, the Island Beskidy, the Gorce, the Sacz Beskidy ranges)

From a geological perspective, this area belongs to the Magura and Silesian nappes of the Flysch Carpathians. Maximum elevations exceed 1,500 m above sea level (the highest peak is Babia Góra at 1722 m). This is a typical landscape of medium mountains cut by deep river valleys. Tourism is a valued industry and its importance is increased by numerous resorts: Stroza, Pcim, Wiśniowa, Zawoja,

**Beskidy** (Beskid Makowski, Beskid Wyspowy, Gorce, Beskid Sądecki, Beskid Wyspowy)

Obszar ten geologicznie jest częścią płaszczowiny magurskiej i śląskiej Karpat fliszowych o maksymalnych wysokościach wzniesień przekraczających 1500 m n.p.m. (Babia Góra, 1722 m n.p.m.). Jest to typowy krajobraz gór średnich z głębokimi dolinami rzecznyymi o dużych walorach turystycznych, z licznymi miejscowościami wypoczynkowymi (Stróża, Pcim, Wiśniowa, Zawoja, Rytro, Piwniczna, Krynica, Muszyna). Obszar ten w znacznym stopniu jest zalesiony, z wyjątkiem dolin rzecznych wykorzystywanych jako główne miejsca zabudowy i komunikacji drogowej.

### **Pieniny, Podhale, Tatry**

Obszar ten stanowi najdalej na południe wysunięty fragment województwa, będący unikatowym w skali kraju regionem turystyczno-krajobrazowym. Jedynie tutaj występuje krajobraz gór wysokich o maksymalnych wysokościach przekraczających 2000 m n.p.m. (Rysy, 2499 m n.p.m.). Tutaj bierze początek najbardziej malownicza z rzek Polski – Dunajec z przełomem w Pieninach i Zbiornikami Czorsztyńskim i Sromowieckim. Obszar ten ze względu na swą atrakcyjność turystyczną poddany jest silnej antropopresji i wymaga szczególnej ochrony swego naturalnego środowiska.

### **Klimat**

Małopolska leży w strefie klimatu umiarkowanego o cechach przejściowych, który kształtowany jest przez różnorodne masy powietrza o bardzo zróżnicowanych właściwościach fizycznych. Dominujący wpływ wywierają napływające z zachodu ciepłe i wilgotne masy powietrza polarno-morskiego oraz napływające ze wschodu oraz północnego wschodu suche i chłodne masy powietrza polarno-kontynentalnego oraz arktycznego. Napływające z kierunków zachodnich masy powietrza morskiego kształtują klimat Małopolski w ciągu około 65% dni w roku, natomiast napływające z kierunków wschodnich masy powietrza polarno-kontynentalnego oraz arktycznego – w ciągu 26% dni. Ponadto, przez około 3% dni w roku zaznaczają się wpływy mas powietrza zwrotnikowego, a przez pozostałe 6% dni klimat Małopolski kształtowany jest przez masy powietrza innego pochodzenia, najczęściej silnie zmienione przez lokalne czynniki. Przestrzenne zróżnicowanie temperatury powietrza w Małopolsce zależy głównie od wysokości nad poziom morza, ukształtowania i ekspozycji terenu oraz w znacznie mniejszym stopniu od szerokości i długości geograficznej. Szczególnie duże zróżnicowanie warunków klimatycznych związane z topografią terenu występuje w Karpatach, charakteryzujących się bardzo dużym zróżnicowaniem morfologicznym form terenu. Karpaty, ze względu na swoje wyniesienie, charakteryzują się również najostrzejszymi warunkami klimatycznymi. Znacznie łagodniejsze warunki klimatyczne występują na Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej, a najłagodniejsze na Pogórzu Karpackim.

Średnia roczna temperatura powietrza w Małopolsce wynosi 5–8°C. Najwyższa jest na obszarze Pogórza Karpackiego, gdzie wynosi 7,5–8,0°C, podczas gdy na Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej jest o 1°C niższa. W najwyższych partiach Karpat kształtuje się poniżej 5°C, a na szczytach tatrzańskich jest nawet ujemna (Kasprowy Wierch –0,6°C). Temperatury maksymalne w Małopolsce w okresie letnim dochodzą do +37°C, a minimalne w okresie zimy spadają do –38°C. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec. Najwyższe średnie temperatury lipca odnotowano w Kotlinie Sandomierskiej (19°C), najniższe w Tatrach (7°C). Najniższe średnie miesięczne temperatury powietrza występują w styczniu i lutym. W Tatrach osiągają –8°C, podczas gdy na pozostałym obszarze tylko –3°C.

Rytro, Piwniczna, Krynica and Muszyna. The area is densely forested except for the river valleys, which are the main settlement areas and transportation routes.

### **The Pieniny and the Tatra Mountains with the Podhale Region**

This is the southernmost periphery of the Voivodship and has incomparable scenic and touristic values. A typical feature is the high-mountain terrain of elevations over 2,000 m above sea level (Rysy Peak at 2,499 m). This is the location of the source of the best-known mountain river in Poland – the Dunajec with its famous, picturesque gorge winding through the Pieniny Mountains and with two reservoirs: in Czorsztyn and Sromowce. Due to the density of its touristic attractions, the area is subjected to intense human pressure and requires thorough and extended protection of its natural environment.

### **Climate**

The Malopolska Voivodship belongs to the temperate climate zone controlled by air flows of highly diversified physical parameters. The dominant air flows are hot and humid from the west, polar and Atlantic Ocean areas, as well as dry and cool air flowing from the east and northeast, continental and even arctic lands. The maritime airflows prevail during 65% of the year whereas the eastbound continental air flows dominates about 26% of the year. The climate of the remaining days is controlled by tropical air (3%) and local factors (6%). The spatial variability of air temperatures in the Malopolska Voivodship depends mostly on altitude, morphology and, subordinately, on geographical position. The climatic conditions in the Carpathians are particularly diverse and strongly influenced by the relief. Due to this factor, the Carpathians exhibit a mostly severe climate, whereas a mild climate occurs in the Carpathian Foreland. The Krakow and the Miechow Uplands exhibit moderate climatic conditions.

The mean annual temperature in the Voivodship falls in the range of 5–8°C and is the highest in the Carpathian Foreland (7.5–8.0°C) and 1°C lower in the Krakow and the Miechow Upland areas. In the highest parts of the Carpathians, the mean temperature decreases to below 5°C (even to –0.6°C at the top of the Kasprowy Wierch Mountain). During the summer, the maximum temperatures may rise to even 37°C in July and in the winter, minimum temperatures may drop down to –38°C. The highest mean monthly temperatures in July are found in the Sandomierz depression (19°C) and the lowest ones in the Tatra Mountains (7°C). The lowest mean monthly temperatures were measured in January and February: –8°C in the Tatra Mountains and –3°C in the remaining parts of the Voivodship.

Total annual precipitation (based upon long-term measurements) ranges from 550 mm in the Krakow and the Miechow Uplands to 1,200–1,400 mm in the Carpathians. Precipitation decreases from the western part of the Carpathians towards the east. The highest mean monthly precipitation occurs in July and August (150–200 mm in the mountains and 70–120 mm in the remaining areas), the lowest values were measured in the January-March period.

The duration of snow cover depends on the elevation and relief. In the Krakow and Miechow Uplands and in the Carpathian Foreland, snow cover usually lasts 60–80 days, whereas in the Carpathians it may last 80–200 days with the maximum value in the Tatra Mountains (Kasprowy Wierch – 231 days).

The growing season (*i.e.*, the period of mean daily temperatures over +5°C) is longest in the Carpathian Foreland (220 days), somewhat shorter in the Krakow and Miechow Uplands (about 200 days) and shortest in the Carpathians, where the mean value is below 180 days but only 200 days at

Roczne wieloletnie sumy opadów wynoszą od 550 mm na Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej do 1200–1400 mm w Karpatach. Najwięcej opadów otrzymuje zachodnia część Karpat, generalnie wielkość opadów zmniejsza się z zachodu na wschód. Najwyższe średnie sumy opadów występują w lipcu i czerwcu (150–200 mm w górach i 70–120 mm na pozostałym obszarze), najniższe w miesiącach styczeń–marzec.

Czas zalegania pokrywy śnieżnej jest zależny od wysokości i od formy terenu. Na Wyżynie Krakowskiej, Miechowskiej i Pogórzu Karpackim wynosi zwykle 60–80 dni, podczas gdy w Karpatach wynosi 80–200 dni, osiagając w Tatrach (Kasprowy Wierch) 231 dni.

Sezon wegetacyjny (dni ze średnią dobową temperaturą powietrza powyżej +5°C) jest najdłuższy na Pogórzu Karpackim, gdzie średnio trwa do 220 dni. Nieco krótszy jest na Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej – około 200 dni, a najkrótszy w Karpatach, gdzie wynosi średnio poniżej 180 dni; w tym od 200 dni na górnej granicy upraw (750 m n.p.m.), 125 dni przy górnej granicy lasu (1550 m n.p.m.) do 0 dni na granicy wiecznych śniegów (2200 m n.p.m.).

## Ochrona i stan środowiska województwa małopolskiego

Środowisko przyrodnicze województwa małopolskiego cechuje niezwykła różnorodność, a zarazem podatność ekosystemów na degradację. Dlatego też racjonalne gospodarowanie zasobami środowiska w celu niedopuszczenia do rabunkowej eksploatacji oraz zniszczenia jest zadaniem o decydującym znaczeniu dla jego ochrony (Strategia rozwoju województwa małopolskiego, 2000).

Urozmaicona budowa geologiczna powoduje, że na obszarze województwa występuje różnorodność surowców mineralnych, jednak o zmiennych zasobach. Konieczność ochrony przyrody i krajobrazu jest ograniczeniem dla eksploatacji wielu złóż, np. położonych na obszarze Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych.

Zasoby wód mineralnych województwa małopolskiego szacuje się na około 243 m<sup>3</sup>/h. Za lecznicze uznano wody występujące w 17 miejscowościach: Głębokiem, Krakowie-Matecznym i Swoszowicach, Krościenku, Krzeszowicach, Krynicy, Łomnicy, Miliku, Muszynie, Piwnicznej, Powroźniku, Rabce, Szczawie, Szczawnicy, Tyliczu, Wapiennem, Wysowej i Żegiestowie. Zbilansowane zasoby wód termalnych związane są z niecką podhalańską, gdzie ich potencjał szacowany jest na około 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (Program Ochrony Środowiska Województwa Małopolskiego na lata 2005–2012, 2005). Występują one w całym obszarze Podhala na głębokości 1600–2600 m. Poza niecką podhalańską zasoby wód termalnych występują również na innych obszarach województwa. Pod względem ilości wód podziemnych (wody zwykle, termalne i solanki) województwo należy zaliczyć do średniozasobnych – 340 mln m<sup>3</sup> – co stanowi 6% zasobów kraju. Największe zasoby wód znajdują się w północno-zachodniej i południowej części województwa. Obszarem o wyraźnym deficycie są obszary wschodnie i północno-wschodnie.

Województwo małopolskie położone w dorzeczu górnej Wisły posiada duże zasoby wód powierzchniowych, stanowiące 14,2% zasobów kraju. Stanowią one główne źródło zaopatrzenia w wodę przemysłu (98%) i gospodarki komunalnej (68%) (ok. 700 hm<sup>3</sup>/r. – 2004; Województwo Małopolskie – 2004). Natomiast pobór wód podziemnych wynosił 64 hm<sup>3</sup>/r. (z czego 80% pobiera gospodarka komunalna, 20% zużywa przemysł). Głównym źródłem zaopatrzenia gospodarki komunalnej są zlewnie rzek: Dunajca, Raby, Skawy, Soły i Rudawy, dlatego też powinny być one poddane szczególnej ochronie.

Górski charakter większości rzek województwa wpływa na nierównomierność przepływów, stąd częste są tu zarówno niżówki, występujące kilka razy do roku wezbrania, i średnio co kilka lat powodzie, którymi zagrożone jest około 48% obszaru województwa.

the upper farming limit (750 m above sea level), 125 days at the upper timber line (1,550 m) and even 0 days at the snow line (2,200 m).

## Status of the environment and environmental protection in the Malopolska Voivodship

The natural environment of the Malopolska Voivodship is highly diversified and also highly susceptible to degradation. Thus, the decisive factor is rational environmental management, particularly the prevention of the excessive, wasteful exploitation of resources and further environmental destruction (Development Strategy of the Malopolska Voivodship, 2000).

The diversified geological structure results in an abundance of various mineral resources, albeit of variable abundance. Environment and landscape protection requirements impose limits on the exploitation of many deposits located *e.g.*, in the area of the Jurassic Landscape Parks.

Mineral water resources are estimated at about 243 m<sup>3</sup>/hour. Therapeutic waters occur in 17 locations: Głębokie, Krakow-Mateczny, Swoszowice, Krościenko, Krzeszowice, Krynica, Łomnica, Milik, Muszyna, Piwniczna, Powroznik, Rabka, Szczawa, Szczawnica, Tylicz, Wapienne, Wysowa and Żegiestow. Thermal groundwaters were discovered in the Podhale Trough, at a depth interval of 1,600–2,600 m, where potential reserves of 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> are estimated (Programme of Environmental Protection of the Malopolska Voivodship in the years 2005–2012, 2005). Thermal groundwaters were also discovered in other parts of the Voivodship.

The Voivodship's groundwater resources (including fresh waters, thermal waters and brines) are moderate and amount to 340 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (*i.e.*, 6% of the national reserves). The largest reserves are available in the northwestern and southern parts of the Voivodship whereas the eastern and northeastern parts exhibit a water deficit.

The Voivodship covers the upper part of the Vistula River drainage basin and, thus, resources of surface waters are significant (14.2% of national reserves). Surface waters are the principal supply source for industry (98%) and communities (68%) (700 hm<sup>3</sup>/year, "The Malopolska Voivodship 2004"), whereas the supply from groundwater intakes is 64 hm<sup>3</sup>/year (of which 80% is potable water and 20% is utilized by industry).

The main potable water supply areas are the drainage basins of the Dunajec, Raba, Skawa, Sola and Rudawa Rivers, which require particular protection.

The mountain character of the rivers results in highly variable discharge – from low to high, the latter case occurring several times per year. Every few years, very high inflows cause floods, which occur in about 48% of the Voivodship.

Forests cover an area of 435,300 ha, which corresponds to 29% forestation (this figure is close to the national average). The distribution of forests is highly variable, however, and ranges from 40% in the mountains to less than 10% in the northern part of the Voivodship. Protected forests cover 210,000 ha (*i.e.*, below 50% of the total area), mostly for water and soil protection.

The natural environment of the Malopolska Voivodship is significantly degraded as a result of long-lasting negligence. The degree of degradation apparently correlates spatially with the magnitude of the sources of degradation, but is also dependent on the susceptibility of ecosystems. Therefore, pollution was reported not only from the highly industrialised, central and western parts of the District, but also from the southern part (Programme of Environmental Protection..., 2005; Our Green Malopolska, 2005).

Lasy zajmują obszar 435,3 tys. ha, co daje wskaźnik zalesienia 29%, który jest zbliżony do krajowego. Stan zalesienia jest zróżnicowany przestrzennie. W obszarach górskich wynosi on ponad 40%, natomiast w najmniej zalesionych terenach północnych nawet poniżej 10%. Do lasów ochronnych zaliczono 210 tys. ha obszarów, co stanowi mniej niż 50% ogółu lasów. Są to głównie lasy wodo- i glebochronne.

Środowisko przyrodnicze województwa małopolskiego na skutek wieloletnich zaniedbań jest w znacznym stopniu zdegradowane. Stopień degradacji wykazuje wyraźne zróżnicowanie przestrzenne korelujące z wielkością źródeł zagrożeń, ale także zależne od wrażliwości ekosystemów. Stąd zanieczyszczenie środowiska występuje nie tylko na obszarach silnie uprzemysłowionych centralnej i zachodniej części województwa, ale również w części południowej (Program Ochrony Środowiska..., 2005; Nasza Zielona Małopolska – Raport, 2005).

W latach 1993–2003 poprawił się stan czystości wód powierzchniowych, które są podstawowym źródłem wody dla celów bytowych i gospodarczych. W 1998 roku nie było wód w I klasie, jedynie 1,2% długości rzek posiadało II klasę czystości, 23% mieściło się w klasie III, a aż 75,8% prowadziło wody poza-klasowe. Obecnie 3,5% rzek posiada II klasę czystości. Głównymi źródłami zagrożeń jakości wód są:

- ✓ ścieki komunalne i przemysłowe – oczyszczalnie ścieków obsługują 74% ludności miast i jedynie 4,4% ludności obszarów wiejskich. Ścieki przemysłowe to w około 80% wody kopalniane oraz ścieki odprowadzane z kopalń węgla kamiennego i zakładów górniczo-hutniczych. Odprowadzane są one do zlewni górnej Wisły, powodując jej nadmierne zasolenie,
- ✓ zanieczyszczenia bytowo-gospodarcze z obszarów zainwestowanych, które nie są w pełni wyposażone w infrastrukturę odprowadzania i oczyszczania ścieków.

Również pod względem emisji zanieczyszczeń do powietrza województwo małopolskie zajmuje trzecią lokatę w kraju. W strukturze emisji zanieczyszczeń do powietrza 188 tys. Mg stanowiła emisja gazów i 12,4 tys. Mg emisja pyłów (Województwo Małopolskie – 2004). Głównym źródłem emisji są zakłady przemysłowe (48,2% pyłów, 54,6% gazów), energetyka zawodowa (35,1% pyłów, 40,2% gazów), transport oraz kotłownie i paleniska indywidualne. Znaczny jest także napływ zanieczyszczeń spoza zachodniej granicy województwa, tj. ze Śląska oraz z obszaru Słowacji i Czech.

Wielkość emisji zarówno pyłowych, jak i gazowych od początku lat dziewięćdziesiątych zmniejsza się. Mimo to jednak notuje się nadal przekroczenia średniorocznych stężeń pyłu zawieszonego w obszarach zachodnich, miastach położonych w kotlinach oraz w Krakowie. Występują także przekroczenia norm dwutlenku azotu, tlenku węgla i benzo- $\alpha$ -pirenu, szczególnie na obszarze dużych miast, co ma związek z natężeniem ruchu drogowego.

Eksploatacja zasobów naturalnych ma na obszarze województwa wielowiekową tradycję (sól kamienna, siarka, węgiel kamienny, surowce skalne). W związku z tą działalnością powstały obszary zdegradowane. Występują wprawdzie przykłady atrakcyjnego, gospodarczego wykorzystania obszarów poeksploatacyjnych (kopalnie soli w Wieliczce i Bochni, kopalnie piasku w Kryspinowie), jednak liczne są obszary niezagospodarowane, szczególnie w zachodniej części województwa (np. wyrobiska piasku w Bukownie).

## Hydrologia i hydrogeologia województwa małopolskiego

### Wody powierzchniowe

Pod względem hydrologicznym teren województwa małopolskiego prawie w całości należy do dorzecza górnej Wisły (zlewisko Bałtyku) oraz w niewielkim stopniu do dorzecza Czarnej Orawy

In the years 1993–2003, significant improvement has occurred in the quality of surface waters, which are the main source of supply for communities. In 1998, no rivers could be classified into the I water quality category, only 1.2% belonged to the II category, 23% belonged to III category and 75.8% of surface waters were beyond all purity classes. Recently, the percentage of rivers in the II water quality category rose to 3.5%. The main pollution sources are:

- ✓ domestic and industrial wastewater – only 74% of urban and 4.4% rural residents are connected to wastewater treatment plants. About 80% of industrial wastewater is mine water and other liquid wastes produced by hard-coal and ore mines, as well as smelters. This wastewater is released into the upper Vistula River watershed, which causes excessive chloride concentrations,
- ✓ wastewater from investment areas where outflow and treatment systems are inadequate.

With respect to the emission of atmospheric pollutants, the Malopolska Voivodship occupies third place in Poland. The emissions structure includes 188,000 Mg of gases and 12,400 Mg of particulates (The Malopolska Voivodship 2004). The principal pollution sources are industrial plants (48.2% of particulates and 54.6% of gases), power generation (35.1% of particulates and 40.2% of gases), transport, domestic boilers and stoves. A significant portion of the airborne pollutants migrates from the west, *i.e.*, from Silesia, but also from Slovakia and the Czech Republic.

While particulate and gas emissions have been reduced since the beginning of 1990s, excessive mean annual concentrations of suspended particulates were reported from the western part of the Voivodship, from towns located in local morphological depressions and from Krakow. Moreover, standards for nitrogen dioxide, carbon monoxide and benzo(a)pyrene emissions are exceeded, particularly in large towns as a result of traffic.

The use of mineral resources (rock-salt, native sulphur, hard coal, metal ores, industrial stones), which has a long tradition in the Voivodship, has resulted in vast, post-industrial, degraded areas. Although examples of successful land reclamation and adaptation of industrial plants (rock-salt mines in Wieliczka and Bochnia, sand pit in Kryspinow) are known, numerous degraded areas remain undeveloped, particularly in the western part of the Voivodship (e.g. sand pit in Bukowno).

## Hydrology and hydrogeology of the Malopolska Voivodship

### Surface waters

The Malopolska Voivodship is located almost entirely in the upper Vistula River watershed (the Baltic Sea catchment). Only small portions of the area are drained by the Czarna Orawa River (the Black Sea catchment). The surface flows mostly constitute the right-bank tributaries of the Vistula River: the Sola, Skawa, Raba, Dunajec, Poprad and Biala Rivers, which drain the Beskidy Mountains and the Carpathian Foreland. These are predominantly narrow, mountain rivers. The left-bank tributaries: the Dlubnia, Szreniawa, Rudawa, and to a lesser extent the Przemsza and Nidzica, mostly drain the uplands located in the northern part of the Voivodship. Due to hydrographic asymmetry, the southern part of the Voivodship supplies most of the drainage flows. Compared to other voivodships in Poland, Malopolska has quite significant resources of surface waters, but its groundwater resources are below the national average. Discharges of rivers and streams in the Carpathians are large but variable over time with common, even daily fluctuations in the water table. Rivers draining the Krakow and the Miechow Uplands exhibit moderate discharges and those from the Sandomierz Depression have the lowest values. The highest discharge was measured for the Dunajec River, followed by the Sola, Skawa and Raba rivers. Water resources are also accumulated in reservoirs (about  $310.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

(zlewisko Morza Czarnego). Wody powierzchniowe województwa to sieć rzeczna, na którą w pierwszym rzędzie składają się prawobrzeżne, karpackie dopływy Wisły, tj. Soła, Skawa, Raba, Dunajec, Poprad i Biała, odwadniające obszar Beskidów i Pogórza. Są to na znacznej długości rzeki górskie i na ogół bardzo wąskie. Natomiast lewobrzeżne dopływy Wisły, takie jak Dłubnia, Szreniawa, Rudawa, w mniejszym udziale Przemsza i Nidzica, odwadniają głównie obszary wyżyn (północną część województwa). Ze względu na asymetrię hydrograficzną województwa większa ilość wód odprowadzana jest z południowej części województwa. W porównaniu z innymi regionami Polski województwo małopolskie posiada dość bogate zasoby wód powierzchniowych, wody podziemne natomiast charakteryzują się zasobami niższymi od przeciętnych w skali krajowej. Zasoby wodne rzek i potoków Karpat są duże, jednak nierównomiernie rozłożone w czasie, z częstymi zmianami stanów wody nawet w ciągu dnia. Rzeki Wyżyny Miechowskiej i Krakowskiej charakteryzują się przeciętnymi zasobami wodnymi, najmniejszymi zasobami odznaczają się natomiast zlewnie w Kotlinie Sandomierskiej. Najzasobniejszy w wodę z dopływów Wisły jest Dunajec, następna Soła, a w dalszej kolejności Skawa i Raba. Do zasobów wodnych można zaliczyć również pojemność użytkową zbiorników retencyjnych wynoszącą około 310,6 mln m<sup>3</sup>.

### **Wody podziemne**

Województwo małopolskie według szacunkowych obliczeń posiada zatwierdzone zasoby eksploatacyjne wód podziemnych w granicach 50 000 m<sup>3</sup>/h. Najbardziej zasobne w wodę są utwory triasu, jury górnej i kredy górnej. Pod względem rozprzestrzenienia utworów wodonośnych największe znaczenie mają zbiorniki czwartorzędowe, w mniejszym stopniu trzeciorzędowe (mioceńskie). Najbardziej zasobne części jednostek hydrogeologicznych tworzą główne zbiorniki wód podziemnych. Na obszarze województwa zlokalizowano 24 GZWP (10 zbiorników w całości i 14 częściowo).

### **Wody mineralne**

Południowa część województwa małopolskiego stanowi najbogatszy w Polsce region pod względem ilości wystąpień i wykorzystania wód do celów balneologicznych oraz rozlewnictwa wód mineralnych. Wody uznane za lecznicze występują w 15 uzdrowiskach. Większość uzdrowisk i miejscowości uzdrowiskowych znajduje się w dorzeczu Popradu w tzw. centralnej strefie hydrochemicznej karpackich wód mineralnych. Występują tu wody typu szczaw. Szczawy występują również w strefie, która obejmuje tereny Szczawnicy-Krościenka, Szczawy i Wysowej. W rejonie Krakowa: Kraków-Mateczny, Swoszowice, występują głównie wody siarczkowe i solanki (Dowgiałło i in. 1969).

### **Groundwaters**

The accessible groundwater resources of the Malopolska Voivodship are about 50,000 m<sup>3</sup>/h. The highest values were measured in the Triassic, Upper Jurassic and Upper Cretaceous groundwater horizons. Quaternary aquifers are the most common, however, followed by the Miocene. Parts of hydrogeological units with the highest capacities were selected as the main groundwater aquifers. In the Malopolska Voivodship, 24 main groundwater aquifers were identified, from which 14 are shared with adjacent voivodships.

### **Mineral waters**

The southern part of the Malopolska Voivodship is the national leader in the number of mineral water springs and their use for balneology and consumption. Most of the health resorts are located in the Poprad River Valley, within the so-called central hydrochemical zone of the Carpathian mineral waters. The most common are carbon dioxide-saturated waters, which also occur in other areas of the Voivodship (Szczawnica-Krościenko, Szczawa and Wysowa). Mostly sulphate waters and brines were encountered in the vicinity of Krakow (Krakow-Mateczny, Swoszowice) (Dowgiallo et al. 1969).

## 1. WODY TERMALNE W JEDNOSTKACH GEOLOGICZNYCH MAŁOPOLSKI

Zbiorniki wód termalnych Małopolski występują w obrębie jednostek geologicznych, które wykazują specyficzne cechy strukturalne i litologiczne wynikające z kształtujących je procesów tektonicznych i sedymentacyjnych. Na obszarze Małopolski wyróżnia się pięć takich jednostek (ryc. 1.1):

- ✓ Karpaty,
- ✓ zapadlisko przedkarpackie,
- ✓ niecka miechowska,
- ✓ monoklina śląsko-krakowska,
- ✓ zapadlisko górnośląskie.

W jednostkach tych wody podziemne występują w zbiornikach usytuowanych w zróżnicowanych wiekowo utworach geologicznych. Stwierdzono wody w obrębie utworów paleozoicznych (w podłożu wszystkich ww. jednostek geologicznych), w obrębie utworów mezozoicznych (obszar niecki miechowskiej, monokliny śląsko-krakowskiej, podłoża zapadliska przedkarpackiego i Karpat), trzeciorzędowych (obszar zapadliska przedkarpackiego i Karpat) oraz czwartorzędowych (ryc. 1.2 i 1.4).

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego N. Oszczypko (1981) wyróżnia następujące piętra hydrogeologiczne: prekambryjsko-staropaleozoiczne, dewońskie, karbońskie, permsko-triasowe, jurajskie, kredowe i mioceńskie.

Nawiązując do wyróżnionych tu pięter hydrogeologicznych, analizie poddano następujące zbiorniki wód podziemnych Małopolski (ryc. 1.3):

- ✓ zbiorniki paleozoiczne (permski, karboński, dewoński, staropaleozoiczno-prekambryjski),
- ✓ zbiornik triasowy,
- ✓ zbiornik środkowojurajski (łącznie z liasowym),
- ✓ zbiornik górnojurajski,
- ✓ zbiornik górnokredowy (cenomański łącznie z dolnokredowym),
- ✓ zbiornik górnokredowy (senoński),
- ✓ zbiornik karpcki (paleogen + mezozoik),
- ✓ zbiornik mioceński.

Wyróżnienie zbiornika doggerskiego (środkowojurajskiego) i cenomańskiego wynika ze szczególnie korzystnych parametrów hydrogeotermalnych tych zbiorników w poza karpckiej części Małopolski.

Możliwość wykorzystania w geotermii wód czwartorzędowych ze względu na niskie temperatury może mieć miejsce głównie w przypadku indywidualnych, niedużych odbiorców, stąd zbiornik ten nie był analizowany. W tabelach 1–8 przedstawiono wybrane parametry hydrogeotermalne poszczególnych zbiorników wód podziemnych. W przypadku braku danych dotyczących temperatur złożowych, szacowano je według wartości gradientu geotermicznego z najbliższego otworu z pomiarem temperatur. Zaprezentowane w tabelach otwory należy traktować jako wskaźniki stref perspektywicznych w aspekcie możliwości wykorzystania energii geotermalnej. Zasięg tych stref wymaga jednak

## 1. THERMAL WATERS IN THE GEOLOGICAL UNITS OF THE MALOPOLSKA VOIVODSHIP

The geothermal aquifers in the Malopolska Voivodship are hosted in geological units that exhibit specific structural and lithologic features originating from both tectonic and depositional processes. Five such units can be distinguished (Fig. 1.1):

- ✓ the Carpathians,
- ✓ the Carpathian Foredeep,
- ✓ the Miechow Trough,
- ✓ the Silesian-Krakow Monocline,
- ✓ the Upper Silesian Coal Basin.

The groundwaters in these units are deposited in aquifers of various age: Paleozoic (located in the basement of all the units), Mesozoic (located in the Miechow Trough, the Silesian-Krakow Monocline and in the basement of both the Carpathian Foredeep and the Carpathians), Tertiary (both in the Carpathian Foredeep and the Carpathians) and Quaternary (Fig. 1.2 and 1.4).

According to Oszczypko (1981), in the Carpathian Foredeep area, the following hydrogeological formations can be distinguished: Precambrian-Lower Paleozoic, Devonian, Carboniferous, Permo-Triassic, Jurassic, Cretaceous and Miocene. Given this division, the following aquifers in the Malopolska Voivodship were analysed (Fig. 1.3):

- ✓ Paleozoic (Permian, Carboniferous, Devonian, Lower Paleozoic-Precambrian),
- ✓ Triassic,
- ✓ Middle Jurassic (including Liassic),
- ✓ Upper Jurassic,
- ✓ Upper Cretaceous (Cenomanian with Lower Cretaceous),
- ✓ Upper Cretaceous (Senonian),
- ✓ Carpathian (Paleogene – Mesozoic),
- ✓ Miocene.

The identification of the Dogger (Middle Jurassic) and Cenomanian aquifers results from the particularly favourable hydrogeothermal parameters found in areas outside the Carpathians.

Due to low temperatures, the geothermal utilisation of Quaternary groundwaters is limited and can be economic only at a small (local) scale, for individual customers. Thus, this aquifer was excluded from the following analysis. Selected hydro-geothermal parameters for particular groundwater reservoirs are presented in tables 1–8. If no temperature data were available, the authors estimated them according to the geothermal gradient value from the nearest well. The wells presented in the tables shall be considered as a factor for zones with prospects for use of geothermal energy. The extent of these zones, however, requires more detailed analysis. In table 9, the authors present zones/communes with especially favourable geothermal parameters – artesian flows and/or water inflows to wells at values above 20 m<sup>3</sup>/h. The location of these aforementioned zones/communes is presented in figure 9.1.

pogłębienia analiz. W tabeli 9 przedstawiono strefy–gminy, na terenie których znajdują się otwory o szczególnie korzystnych parametrach geotermalnych wyrażających się stwierdzonymi samowypływami i/lub przyptywami wód do otworów o wartościach powyżej 20 m<sup>3</sup>/h. Lokalizację wymienionych stref–gmin pokazano na rycinie 9.1. Diagram 1 przedstawia energetyczną klasyfikację ww. stref–gmin według kryterium temperaturowego. Rzeczywiste możliwości danej strefy–gminy do wykorzystania energii geotermalnej uzależnione są jednak od wydajności zbiornika, charakterystyki potencjalnego odbiorcy, kosztów wydobycia i zrztu wody i od wielu innych czynników techniczno-ekonomicznych.

## Karpaty

Fliszowy masyw karpacki (Karpaty zewnętrzne) ukształtowany podczas ruchów miocenijskich zajmuje ponad 60% powierzchni województwa, lecz jego znaczenie dla geotermii jest ograniczone, głównie wskutek braku ciągłości korzystnych parametrów zbiornikowych oraz małego rozmiaru stref akumulacji, co wiąże się z charakterem litologii i tektoniki warstw fliszowych (Chowaniec i in. 2001). Na obszarze Małopolski niektórymi otworami wiertniczymi natrafiono na złoża wód termalnych, jednak bez badania stabilności parametrów hydrogeotermalnych (rejon Poręby Wielkiej, Rabki, Skomielnej Białej).

Inne warunki geotermalne panują w utworach podłoża Karpat. Na wschód od Myślenic podłoże Karpat reprezentowane jest głównie przez miocenijskie i mezozoiczne kompleksy kontynuujących się tutaj utworów zapadliska przedkarpackiego i niecki miechowskiej.

W rejonie Dobczyc i Sieprawia (pow. myślenicki) oraz Łątki, Wiśnicza Nowego, Połomia Dużego, Kamyka (pow. bocheński), pod fliszem karpackim i utworami miocenu zalega piaszczysty horyzont cenomański kontynuujący się z obszaru niecki miechowskiej i wykazujący korzystne parametry hydrogeotermalne. Kompleks cenomanu przykryty jest marglami górnej kredy i piaszczystymi utworami miocenu, a jego głębokość w tej strefie zmienia się od 1500–1900 metrów (rejon Dobczyc) do 2300 metrów w rejonie Łątki, gdzie temperatury wód ocenia się na około 70°C.

Poniżej, pod utworami jury górnej zalega piaszczysty horyzont doggerski (jura środkowa), który również posiada dość korzystne parametry hydrogeotermalne w strefie Dobczyc i Sieprawia. Utwory doggeru o korzystnych parametrach zbiornikowych występują w rejonie Jadownik, Wiśnicza Nowego, Lepusznicy i Leszczyn (pow. bocheński).

W części zachodniej na obszarze powiatu wadowickiego i suskiego, podłoże Karpat budują utwory miocenijskie i paleozoiczne (głównie dewońskie i karbońskie), których wodonośność jest niska, a wydajność otworów nie przekracza kilku m<sup>3</sup>/h (rejon Suchej Beskidzkiej, Potrójnej).

Na południe od Pienin Karpaty przechodzą w strukturę tzw. Karpat wewnętrznych, całkowicie odmienną litologicznie i tektonicznie od kompleksów fliszowych na północy (ryc. 1.4). Na obszarze tym w obrębie niecki podhalańskiej panują unikatowe warunki hydrogeotermalne w obrębie utworów eocenu numulitowego, triasu i liasu tatrzańskiego oraz warstw szaflarskich (m.in. otwory w Chochołowie, Bukowinie Tatrzańskiej, Zakopanem, Białym Dunajcu, Poroninie). Uzyskiwane wydajności wód przekraczają tam 500 m<sup>3</sup>/h, a temperatury dochodzą do 88°C (Bujakowski, Barbacki 2004, Kępińska 1995).

## Zapadlisko przedkarpackie

Granice zapadliska przedkarpackiego wyznacza zasięg morskich osadów miocenu. Na obszarze tym wody termalne związane są zarówno z piaszczystymi utworami miocenu, jak i z jego mezozoicz-

Diagram 1 presents the energetic classification of the aforementioned zones/communes using the temperature criterion. The real potential for a given zone/commune for geothermal energy utilization, however, depends on aquifer efficiency, the characteristics of potential customers, the costs of water production and disposal and many other technical and economic factors.

## The Carpathians

The Flysch Carpathians (Outer Carpathians), which formed during the Miocene orogenic episode, cover more than 60% of the Malopolska Voivodship. Yet, the importance of the mountain range for geothermal purposes is limited due to the non-continuous distribution of reservoir parameters, the small size of accumulation zones, the features controlled by lithology and tectonics of the flysch complexes (Chowaniec et al. 2001). In the Malopolska Voivodship, some boreholes (the Poreba Wielka, Rabka, Skomielna Biala areas) found geothermal waters, but stability of their hydrogeothermal parameters has not yet been tested.

The basement of the Carpathians exhibits variable geothermal conditions. East of the town of Myślenice, the basement comprises mostly the Miocene and Mesozoic strata, which are the continuation of units known from both the Carpathian Foredeep and the Miechow Trough.

In the areas of Dobczyce and Siepraw (Myślenice County) as well as Lakta, Wiśnicz Nowy, Polom Duzy and Kamyk (Bochnia County), both the Carpathian Flysch and the Miocene are underlain by Cenomanian sandstones, which extend far towards the Miechow Trough and exhibit favourable hydrogeothermal parameters. A Cenomanian succession occurs at depths from 1,500–1,900 meters in the Dobczyce area to 2,300 meters in the Lakta vicinity where water temperatures are estimated to be around 70°C. The succession is covered by Upper Cretaceous marls and Miocene sandstones.

Beneath, under the Upper Jurassic strata, Dogger (Middle Jurassic) sandstones occur. These rocks also exhibit relatively favourable hydrogeothermal parameters in the Dobczyce and Siepraw areas. Moreover, Dogger sediments of promising reservoir parameters are also known in the Jadowniki, Wiśnicz Nowy, Lepusznica and Leszczyn areas (Bochnia County).

In the western part of the Carpathians (Wadowice and Sucha Beskidzka), the basement comprises Miocene and Paleozoic (mostly Devonian and Carboniferous) sequences of low water-bearing capacity and low inflow, usually not exceeding several m<sup>3</sup>/h (the Sucha Beskidzka and Potrójna areas).

South of the Pieniny Klippen Belt, the Flysch Carpathians contact the so-called “Inner Carpathians” – a structure lithologically and tectonically different from the flysch complexes of the “Outer Carpathians” (Fig. 1.4). This area, particularly the Podhale Trough, exhibits some unique hydrogeothermal conditions within the Nummulite Eocene, Triassic and Liassic sediments of the Tatra Mountains nappes and the Szaflary Beds (e.g., wells completed in Chochołow, Bukowina Tatrzańska Białą Dunajec and Poronin). Inflows exceed 500 m<sup>3</sup>/h and temperatures reach 88°C (Bujakowski, Barbacki 2004; Kępińska 1995).

## The Carpathian Foredeep

The boundaries of the Carpathian Foredeep are contoured by the extent of marine Miocene sediments. Here, thermal waters are deposited in Miocene sandstones and in Mesozoic basement rocks. Locally, such waters occur in deeper, Paleozoic complexes (Carboniferous, Devonian), as e.g., in the vicinity of Lapczyca and Krakow. In the western part of the Foredeep, the basement includes Me-



nym podłożem. Lokalnie wody termalne występują również w głębszych horyzontach paleozoicznych (karbon, dewon), jak np. w rejonie Łapczyca i Krakowa. Podłoże zachodniej części zapadliska stanowią utwory mezozoiku monokliny śląsko-krakowskiej i karbonu zapadliska górnośląskiego (ryc. 1.1).

Znaczenie zbiornika miocenijskiego dla geotermalnego wykorzystania obniża płytkie zaleganie wodonośnych utworów oraz zmienność cech zbiornikowych. Przyipyły i samowypłyły wód z utworów miocenu obserwowano głównie w otworach z rejonu na wschód od Krakowa (rejon Dąbrowy Tarnowskiej, Grobli, Rzezawy, Bochnia). Maksymalne temperatury występujących tutaj wód szacuje się na około 30°C.

Bardziej interesujące parametry hydrogeotermalne na obszarze zapadliska przedkarpackiego związane są z jego mezozoicznym podłożem, a głównie ze zbiornikiem cenomańskim i doggerskim, kontynuującymi się w podłożu Karpat.

Korzystne parametry hydrogeotermalne wód i utworów cenomańskich występują w takich rejonach, jak: rejon Niepołomic, Grobli, Bochni, Brzeźnicy. Strefa bardzo dobrych warunków hydrogeotermalnych w obrębie zbiornika cenomańskiego kontynuuje się od obszaru gminy Rzezawa na północ poprzez gminę Szczurowa (powiat brzeski) w kierunku Koszyc (powiat proszowski). Strefa ta obejmuje również rejon Woli Rogowskiej (powiat tarnowski). Głębokość horyzontu cenomańskiego na obszarze zapadliska przedkarpackiego waha się od około 200 metrów w rejonie Kocmyrzowa do 1000 metrów w rejonie Rzezawy, stąd zakres możliwych do uzyskania temperatur wód wynosi od 20°C do 30°C (Barbacki, Kazanowska 2001a).

Utwory doggeru przedgórze Karpat posiadają korzystne parametry hydrogeotermalne w rejonie Woli Zabierzowskiej koło Niepołomic oraz w wyżej wymienionych rejonach Rzezawy i Brzeźnicy (powiat bocheński), a także w rejonie Raclawic, jednak wydajności wód są niższe aniżeli w przypadku zbiornika cenomańskiego. Głębokość zbiornika doggerskiego waha się od około 500 metrów w rejonie Kocmyrzowa do 1900 metrów w rejonie Brzeźnicy, stąd zakres możliwych do uzyskania temperatur wód wynosi od 20°C do 54°C. Na wschodzie obszaru w rejonie Żabna i Radłowa (powiat tarnowski) zawodnione piaskowce zbiornika doggerskiego nawiercono na głębokościach około 2000 metrów, z wodami o temperaturze powyżej 55°C (Barbacki, Kazanowska 2001b).

Utwory górnej jury tworzą struktury zbiornikowe o nieregularnym, przypadkowym rozkładzie przestrzennym na obszarze całej Małopolski (Barbacki 2002). I tak, przykładowo w rejonie na południe od Tarnowa (strefa przejściowa Karpat i zapadliska przedkarpackiego) występują wody związane z górnourajskim złożem węglowodorów wykazujące temperaturę około 55°C (głębokość około 1800 m), a w rejonie Krakowa (Wyciąże, Zielona) wody artezyjskie o temperaturze 20–30°C (głębokość 500–800 m).

Samowypłyły wód na obszarze zapadliska przedkarpackiego miały miejsce również ze starszych zbiorników wód podziemnych: w rejonie Radłowa z utworów triasu, w rejonie Niepołomic, Krakowa i Łapczyca z utworów dewonu, a w rejonie Kryspinowa z utworów karbońskich.

## Niecka miechowska

Niecka miechowska to strefa na północ od granicy zapadliska przedkarpackiego, gdzie utwory kredy górnej ukazują się na powierzchni (zwykle podczwartorzędowej). Główne zbiorniki wód termalnych tworzą tu utwory doggeru i cenomanu. Zbiorniki te są kontynuacją zbiorników cenomańskiego i doggerskiego występujących w podłożu zapadliska przedkarpackiego i w podłożu Karpat.

Szczególnie korzystne parametry hydrogeotermalne wykazuje zbiornik cenomański w rejonie Słomnik (powiat krakowski) oraz Raclawic i Trzonowa (powiat miechowski). Rejon Słomnik, pomimo nis-

sozoic strata of the Silesian-Krakow Monocline and Carboniferous formations of the Upper Silesian Coal Basin (Fig. 1.1).

The importance of the Miocene aquifer is reduced by its shallow depth and variability of reservoir properties. Groundwater inflows (even artesian) from the Miocene aquifer were observed in boreholes east of Krakow (Dabrowa Tarnowska, Grobla, Rzezawa, Bochnia). The maximum temperatures are estimated to be about 30°C.

More promising are the hydrogeothermal parameters of the Mesozoic basement rocks, particularly Cenomanian and Dogger sediments, which extend southward beneath the Carpathians. These were observed in several areas: Niepolomice, Grobla, Bochnia and Brzeznica. The zone of appropriate hydrogeothermal conditions within the Cenomanian aquifer continues northward, from the Rzezawa commune through the Szczurowa commune (Brzesko County) towards Koszyce (Proszowice County) and includes also the area of Wola Rogowska (Tarnow County). The depth to the Cenomanian aquifer throughout the entire Carpathian Foredeep varies from about 200 meters in the Kocmyrzow area to 1,000 meters in the Rzezawa vicinity. Thus, the realistic, working temperatures vary from 20 to 30°C (Barbacki, Kazanowska 2001a).

The Dogger strata from the Carpathian Foredeep reveal favourable reservoir parameters in the vicinity of Wola Zabierzowska near Niepolomice and in the aforementioned Rzezawa and Brzeznica areas (Bochnia County), as well as the Raclawice area where inflows are much lower than in the Cenomanian aquifer.

The depth of the Dogger aquifer varies from about 500 meters in the Kocmyrzow area to 1,900 meters in the Brzeznica vicinity, which means that estimated working temperatures will vary from 20 to 54°C. In the eastern parts of the area (Zabno and Radlow, in Tarnow County), water-bearing Dogger sandstones were encountered at a depth of about 2,000 meters, with reservoir temperatures over 55°C (Barbacki, Kazanowska 2001b).

The Upper Jurassic reservoirs exhibit random distribution over the Malopolska area (Barbacki 2002). For instance, to the south of Tarnow (transitional zone from the Carpathian Foredeep to the Carpathians), the thermal waters related to the petroleum deposit accumulated in the Upper Jurassic strata exhibit reservoir temperatures of about 55°C at a depth of about 1,800 meters, whereas in the vicinity of Krakow (Wyciąże, Zielona) artesian waters of reservoir temperatures 20–30°C occur at depths ranging from 500–800 meters.

In the Carpathian Foredeep area, artesian flows were also obtained from older reservoirs: Triassic sediments in the Radlow area, Devonian strata in the Niepolomice, Krakow and Lapczyca areas and Carboniferous strata in the vicinity of Kryspinow.

## The Miechow Trough

The Miechow Trough is located north from the boundary of the Carpathian Foredeep. Here, the Upper Cretaceous sediments subcrop usually beneath the bottom of Quaternary sequences. The main geothermal aquifers hosted within the Dogger and Cenomanian strata are the continuation of aquifers of the same ages known from the Carpathian Foredeep and the Carpathians basement.

The particularly favourable hydrogeothermal parameters of the Cenomanian aquifer occur in the areas of Słomniki (Krakow County) and Raclawice/Trzonow (Miechow County). In the Słomniki area, Cenomanian waters exhibit low temperatures (about 18°C) and low TDS (0.2 g/dm<sup>3</sup>), but high inflows under artesian conditions (50 m<sup>3</sup>/h) (Bujakowski 2001; Bujakowski, Barbacki 2000). In the Raclawice

kich temperatur wód (ok. 18°C), odznacza się dużymi wydajnościami i samowypływami (50 m<sup>3</sup>/h) przy znikomej mineralizacji ogólnej (0,2 g/dm<sup>3</sup>) (Bujakowski 2001; Bujakowski, Barbacki 2000). Rejon Raławic to obszar wyklinowania utworów cenomańskich, gdzie rolę zbiornika geotermalnego przejmują wodonośne utwory doggeru (samowypływy, niska mineralizacja, temperatura ok. 35°C).

Utwory triasu niecki miechowskiej również stanowią interesujący zbiornik wód termalnych. Dotyczy to głównie rejonu Książa Wielkiego, Raławic, Uniejowa i Trzonowa, gdzie obserwowano samowypływy wód o temperaturze około 40°C.

Utwory starsze, paleozoiczne, wykazują na analizowanym obszarze niecki miechowskiej niekorzystne parametry zbiornikowe.

### **Zapadlisko górnośląskie i monoklina śląsko-krakowska**

Obszar ten ze względu na płytkie zaleganie wodonośnych utworów mezozoiku (niskie temperatury) i niekorzystne parametry zbiornikowe paleozoiku (niskie wydajności) nie przedstawia większych perspektyw dla wykorzystania energii geotermalnej.

Karbon górnośląski (powiat oświęcimski i chrzanowski) stanowi zbiornik wód termalnych, jednak o trudnej do określenia lokalizacji stref zbiornikowych i charakteryzuje się małymi wydajnościami przy znacznych depresjach (Rózkowski 1996). Do potencjalnych zbiorników wód termalnych możliwych do wykorzystania należy zaliczyć zroby i wyrobiska górnicze zatopione po eksploatacji kopalń (ryc. 2.1), gdzie temperatury wód dochodzą do 45°C, a rozległa powierzchnia odsłoneń umożliwi uzyskanie znacznych wydajności (Małolepszy 2000). Niżejległe utwory zbiornika dewońskiego wykazują w tej części zapadliska górnośląskiego szczelność i całkowitą nieprzepuszczalność (Rózkowski 1996).

Na obszarze monokliny śląsko-krakowskiej istnieją potencjalne możliwości pozyskania energii geotermalnej z utworów triasowych (ewentualnie jurajskich) tworzących tutaj eksploatowane dla celów konsumpcyjnych poziomy wodonośne (powiat olkuski, chrzanowski i zachodnia część krakowskiego). Bariere dla szerszego wykorzystania zakumulowanej energii geotermalnej stanowią jednak temperatury występujących tutaj wód nie przekraczające 20°C. Z kolei wodonośność w głębszych stref utworów paleozoicznych jest dotąd nierozpoznana.

area, Cenomanian strata extrude and geothermal waters are deposited in the Dogger aquifer (artesian flows, low TDS and temperature about 35°C).

The Triassic sequence in the Miechow Trough also forms an interesting geothermal aquifer, especially in Książ Wielki, Raławice, Uniejow and Trzonow, where artesian flows were observed at temperatures of about 40°C.

The older formations (Paleozoic) exhibit unfavourable reservoir parameters.

### **The Upper Silesian Coal Basin and the Silesian-Krakow Monocline**

Neither area exhibits prospects for the utilization of geothermal energy due to the shallow depth of Mesozoic formations (resulting in low temperatures) and unfavourable reservoir parameters (low inflows).

Although the Carboniferous formations (known from both the Oświęcim and Chrzanow counties) host geothermal waters, the reservoirs are difficult in terms of location and exhibit low inflows at high drawdown rates (Rózkowski 1996). Some potential is provided by old mines flooded after the closure of coal mines (Fig. 2.1), where temperatures up to 45°C were measured and where large, exposed areas permit high inflows (Małolepszy 2000). The underlying Devonian strata are entirely impermeable (Rózkowski 1996).

Potentially, geothermal energy can be obtained from Triassic and, possibly, from Jurassic strata, which host potable water horizons exploited in Olkusz, Chrzanow and in the western part of Krakow counties. Temperatures below 20°C, however, preclude their more intensive utilization. The deep-seated groundwater horizons in Paleozoic strata still remain unexplored.