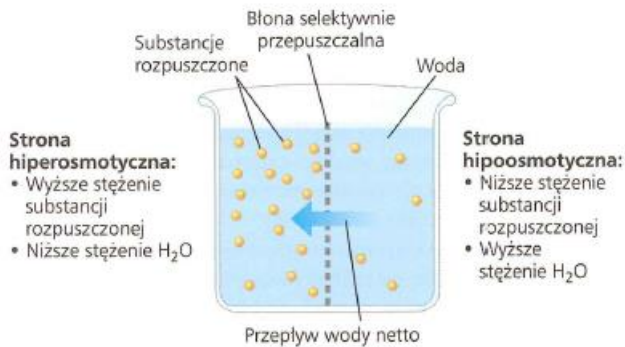


## UKŁAD WYDALNICZY I OSMOREGULACJA

- ❑ woda wchodzi do komórek i opuszcza je w wyniku **osmozy**, która następuje, jeżeli dwa roztwory oddzielone błoną różnią się całkowitym stężeniem substancji rozpuszczonej.



Jednostką miary stężenia substancji rozpuszczonej jest **osmolarność**, liczba moli substancji rozpuszczonej w litrze roztworu.

**Osmolarność krwi ludzkiej wynosi około 300 mOsm/l, a wody morskiej – nawet 1000 mOsm/l.**

**prawidło osmozy brzmi: woda przepływa zawsze z roztworu hipotonicznego do hipertonicznego (z bardziej rozcieńczonego do mniej)**

- ❑ Zwierzę może utrzymywać bilans wodny na dwa sposoby. Może być osmokonformerem oraz osmoregulatorem:
  - **Osmokonformery** są izotoniczne w stosunku do otoczenia; wszystkie z nich należą do zwierząt morskich. Nie mają one tendencji ani do pobierania, ani utraty wody. Wiele z nich żyje w wodzie, która ma stały skład, a więc stałą osmolarność wewnętrzną.
  - **Osmoregulatory** kontrolują osmolarność wewnętrzną niezależnie od środowiska zewnętrznego. Aby przetrwać w środowisku hipoosmotycznym, usuwają nadmiar wody; w środowisku hiperosmotycznym pobierają wodę, aby wyrównać jej straty.
- ❑ Utrzymywanie różnic w osmolarności pomiędzy organizmem zwierzęcia a środowiskiem zewnętrznym wymaga nakładów energii. Ponieważ dyfuzja dąży do wyrównania stężeń w układzie, osmoregulatory muszą wydatkować energię na utrzymanie gradientu osmotycznego, który powoduje napływ lub wypływ wody. Robią to, wykorzystując transport aktywny, aby sterować stężeniami substancji rozpuszczonych w ich płynach ustrojowych.

## RODZAJE AZOTOWYCH ODPADÓW METABOLICZNYCH

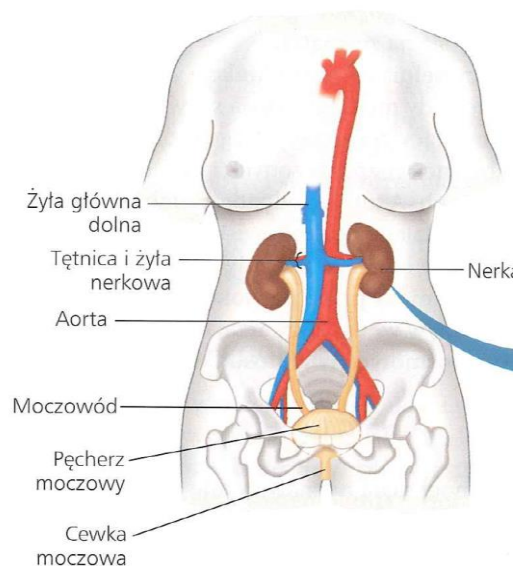
Zwierzęta wydalają azotowe odpady metaboliczne w postaci **amoniaku, mocznika i kwasu moczowego**. Związki te różnią się znacznie w odniesieniu do ich toksyczności i kosztu energetycznego ich wytworzenia.

- ❑ **Amoniak** (zwierzęta amonioteliczne): zwierzęta te muszą mieć dostęp do dużych ilości wody, gdyż amoniak może być tolerowany jedynie w bardzo niskich stężeniach, zatem wydalanie amoniaku jest głównie dla zwierząt wodnych. U wielu bezkręgowców, amoniak usuwany jest całą powierzchnią ciała.
- ❑ **Mocznik** (zwierzęta ureoteliczne): większość gatunków lądowych i morskich nie ma dostępu do wystarczającej ilości wody, żeby wydalac amoniak. W zamian wydalają one mniej toksyczny odpad – mocznik (produkt cyklu mocznikowego, który łączy amoniak z CO<sub>2</sub> w wątrobie). Główną jego zaletą jest jego niska toksyczność, natomiast wadą większy koszt energetyczny jego syntezy.
- ❑ **Kwas moczowy** (zwierzęta urykoteliczne): kwas moczowy jest stosunkowo nietoksyczny i wyjątkowo trudnorozpuszczalny w wodzie, jest zatem wydalany w postaci krystalicznej (pasta z niewielką ilością wody). Jego wytwarzanie jest jednak nawet bardziej kosztowne energetycznie niż wytwarzanie mocznika. Ludzie również wytwarzają niewielkie jego ilości z rozkładu puryn.

## OGÓLNE PRAWIDŁA PROCESÓW WYDALNICZYCH

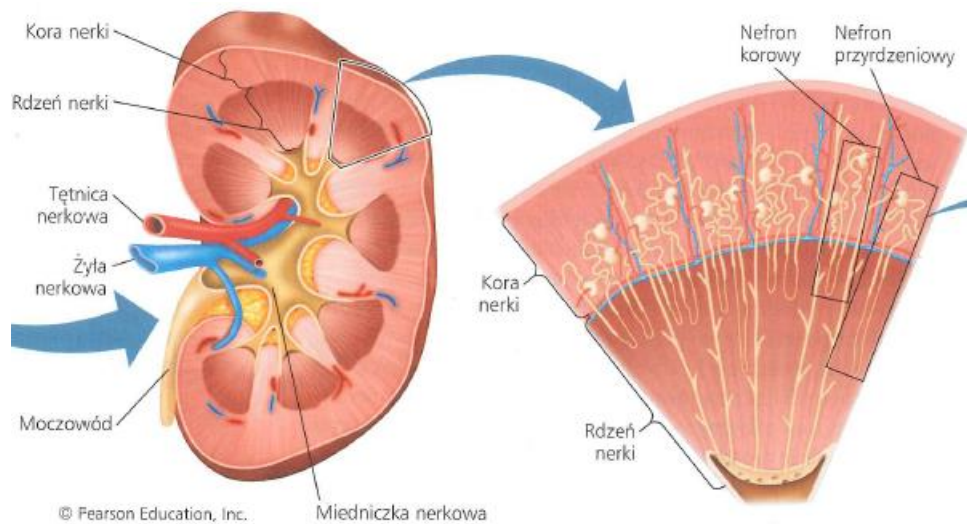
- ❑ Wszystkie zwierzęta niezależnie od gatunku produkują płynny odpad nazywany moczem, w kilku głównych etapach.
  - W pierwszym z nich, płyn ciała (krew, płyn celomy lub hemolimfa) kontaktuje się z selektywnie przepuszczalną błoną nabłonka transportowego. W większości przypadków ciśnienie hydrostatyczne napędza proces **filtracji**. Komórki, a także białka i inne duże cząsteczki nie mogą przejść przez błonę nabłonka i pozostają w płynie ustrojowym. Woda i inne małe substancje rozpuszczone, takie jak sole, cukry, aminokwasy i azotowe produkty metabolizmu, przechodzą przez błonę, tworząc roztwór zwany **filtratem**.
  - Filtrat jest przetwarzany w płyn wydalniczy w wyniku swoistego transportu związków z niego i do niego. Proces selektywnej **reabsorpcji** odzyskuje użyteczne cząsteczki i wodę z filtratu i przywraca je do płynów ustrojowych. Cenne substancje rozpuszczone (obejmujące glukozę, niektóre sole, witaminy, hormony i aminokwasy) są zwrotnie wchłaniane przez transport aktywny.
  - Nieistotne substancje rozpuszczone i odpady są pozostawiane w filtracie lub dodawane do niego w wyniku selektywnej **sekrecji**, która jest możliwa również dzięki transportowi aktywnemu. W ostatnim etapie – wydalaniu – przetworzony filtrat zawierający azotowe odpady metaboliczne jest uwalniany z organizmu jako **mocz**.

- ❑ Układ wydalniczy ssaków składa się z **nerek** – pary narządów o długości około 10 cm, oraz narządów służących do transportu i magazynowania moczu (moczowody i pęcherz moczowy). W trakcie oddawania moczu (mikcji) jest on usuwany z pęcherza przez przewód zwany cewką moczową. Oddawanie moczu jest regulowane przez mięśnie zwieracza znajdujące się w okolicach połączenia cewki z pęcherzem.



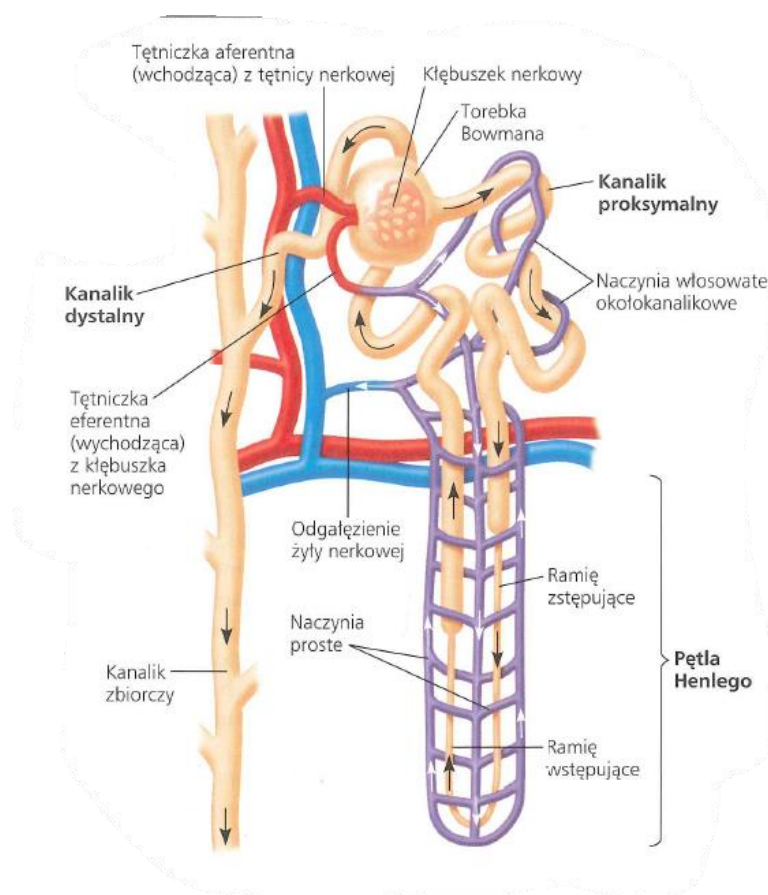
## BUDOWA NERKI

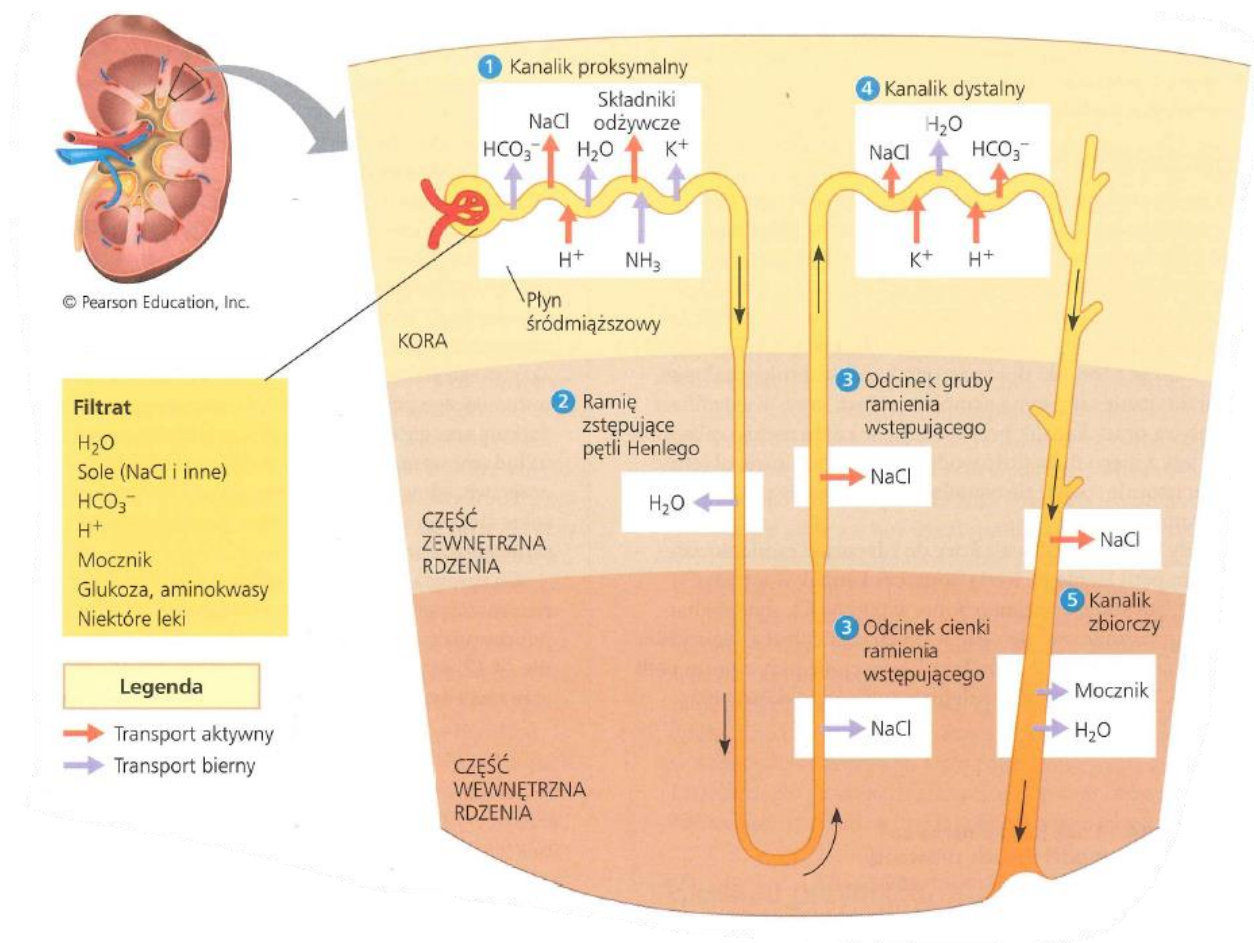
- ❑ Każda nerka zbudowana jest z zewnętrznej **kory nerkowej** oraz wewnętrznego **rdzenia nerkowego**. Obie warstwy są zaopatrywane w krew przez **tętnicę nerkową**. Krew jest odprowadzana przez żyłę nerkową. W obrębie kory i rdzenia znajdują się ściśle upakowane kanaliki wydalnicze i towarzyszące im naczynia krwionośne. Kanaliki wydalnicze tworzą i transportują filtrat produkowany z krwi wpływającej do nerki. Niemal cały płyn tworzący filtrat jest reabsorbowany do otaczających naczyń krwionośnych i opuszcza nerkę żyłą nerkową. Pozostały płyn opuszczający kanaliki wydalnicze w postaci moczu jest zbierany w wewnętrznej **miedniczce nerkowej** i wypływa z nerek moczowodem.
- ❑ Przechodzące tam i z powrotem poprzez korę i rdzeń nerki **nefrony** są podstawową jednostką funkcjonalną nerki kręgowców. W nerce człowieka znajduje się ich ponad milion. Wyróżniamy nefrony korowe (wnikają w rdzeń na małą odległość) oraz przyrdzeniowe (wnikają głęboko w rdzeń nerki). Przyrdzeniowe tworzą mocz hipoosmotyczny w stosunku do płynów ustrojowych – adaptacja ssaków do oszczędzania wody)



## BUDOWA NEFRONU

- ❑ Każdy nefron zbudowany jest z pojedynczego długiego kanalika (dzielonego na różne części) oraz kłębuska naczyń włosowatych zwanych **kłębuszkiem nerkowym**.
- ❑ Ślepy koniec kanalika tworzy rozszerzenie w formie miseczki, otaczające kłębuszek nerwowy – zwane jest **torebką Bowmana**. Filtrat powstaje, gdy ciśnienie osmotyczne krwi tętnicy płynie z krwi w kłębuszku nerkowym do światła torebki Bowmana.
- ❑ Następnie, tworzenie moczu następuje, gdy filtrat przechodzi przez trzy główne części nefronu: **kanalik proksymalny**, **pętlę Henlego** (ma ramię wstępujące i zstępujące) i **kanalik dystalny**. **Kanalik zbiorczy** otrzymuje przetworzony filtrat z wielu nefronów i transportuje go do miedniczki nerkowej.
- ❑ Każdy nefron jest zaopatrywany przez tętniczkę **doprowadzającą** ( aferentną), odnogę tętnicy nerkowej, która rozgałęzia się i tworzy włosowate naczynia krwionośne kłębuszka nerkowego. Opuszczając kłębuszek nerkowy, naczynia włosowate łączą się i tworzą tętniczkę **odprowadzającą** ( eferentną).





## KANALIK PROKSYMALNY

- ❑ Reabsorpcja w kanalikach proksymalnych pełni główną rolę w odzyskiwaniu wody i cennych składników odżywczych z dużej objętości filtratu pierwotnego (mocz u pierwotnego).  $NaCl$  w filtracie przechodzi do komórek nabłonka transportującego na drodze dyfuzji **ulstwionej i kotransportu**. Komórki nabłonkowe aktywnie transportują  $Na^+$  do płynu śródmięszkowego, a przemieszczanie dodatniego ładunku poza kanaliki napędza pasywny transport jonów  $Cl^-$ .
- ❑ Podczas gdy sól przemieszcza się z filtratu do płynu śródmięszkowego, woda podąża za nią na drodze osmozy (w myśl różnicy potencjałów). Sól i woda następnie z płynu śródmięszkowego dyfundują do naczyń krwionośnych (włosowatych okołokanalikowych). Glukoza, aminokwasy, jony potasu i inne niezbędne substancje są również aktywnie lub pasywnie transportowane z filtratu do płynu śródmięszkowego, a następnie do naczyń włosowatych okołokanalikowych nefronu.
- ❑ Przetwarzanie filtratu w kanaliku proksymalnym pozwala na zachowanie względnie stałego pH płynów ustrojowych. Komórki nabłonka transportowego wydzielają do światła kanalików jony  $H^+$  oraz syntetyzują i wydzielają amoniak, który działa jak bufor dla jonów  $H^+$ . Im kwaśniejszy jest filtrat, tym więcej amoniaku komórki produkują i wydzielają. Kanaliki proksymalne dodatkowo reabsorbują z filtratu około 90% buforującego anionu wodorowęglanowego, przyczyniając się dodatkowo do zachowania równowagi pH w płynach ustrojowych.
- ❑ Na tym etapie transportowane do płynu śródmięszkowego i naczyń włosowatych okołokanalikowych również różne leki i toksyny przetworzone wcześniej w wątrobie.

## RAMIĘ ZSTĘPUJĄCE PĘTLI HENLEGO (PĘTLI NEFRONU)

- Reabsorpcja wody jest kontynuowana, gdy filtrat przechodzi do ramienia zstępującego pętli Henlego. Tutaj liczne kanały wodne i tworzone przez białka **akwaporyny** czynią nabłonek łatwo przepuszczalnym dla wody. W przeciwieństwie do kanalika proksymalnego praktycznie nie ma tu kanałów i nośników dla soli i innych niskocząsteczkowych substancji rozpuszczalnych, co powoduje brak przepuszczalności dla tych substancji.
- Aby woda efektywnie wychodziła z kanalików na drodze osmozy, płyn śródmiąższowy musi być hipertoniczny w stosunku do filtratu. Takie warunki panują wzdłuż całego ramienia zstępującego, gdyż osmolarność płynu śródmiąższowego rośnie stopniowo od zewnętrznej kory do wewnętrznego rdzenia nerki. W rezultacie filtrat traci wodę, a rośnie w nim stężenie substancji rozpuszczonych, w miarę jak przesuwa się w dół ramienia zstępującego.

## RAMIĘ WSTĘPUJĄCE PĘTLI HENLEGO (PĘTLI NEFRONU)

- Filtrat dociera do czubka pętli i następnie wraca do kory ramieniem wstępującym. Przeciwnie do ramienia zstępującego ramię wstępujące **nie posiada akwaporyn i jest nieprzepuszczalne dla wody**.
- Ramię wstępujące ma dwa wyspecjalizowane regiony: cienki, blisko końca pętli i gruby, sąsiadujący z kanalikiem dystalnym.
- Gdy filtrat wznosi się w segmencie cienkim, NaCl, który jest zagęszczany w ramieniu zstępującym dyfunduje z przepuszczalnego kanalika do płynu śródmiąższowego. Ten przepływ NaCl z kanalika pomaga utrzymać osmolarność płynu śródmiąższowego w rdzeniu.
- W części grubej ramienia wstępującego następuje ciągły ruch NaCl z filtratu. Tutaj jednak nabłonek aktywnie transportuje NaCl do płynu śródmiąższowego. W miarę utraty soli (ale nie wody), filtrat płynący w kierunku kory staje się coraz bardziej rozcieńczony (ubogi w  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ ).

## KANALIK DYSTALNY

- Kanalik dystalny odgrywa główną rolę w regulacji stężenia jonów  $\text{K}^+$  i NaCl w płynach ustrojowych. Ta regulacja obejmuje różnice w ilości wydzielanych jonów potasowych do filtratu, a także ilości reabsorbowanego NaCl z filtratu. Podobnie jak kanalik proksymalny, kanalik dystalny wpływa na regulację pH przez kontrolowane wydzielanie protonów i reabsorpcję jonów wodorowęglanowych.

## KANALIK ZBIORCZY

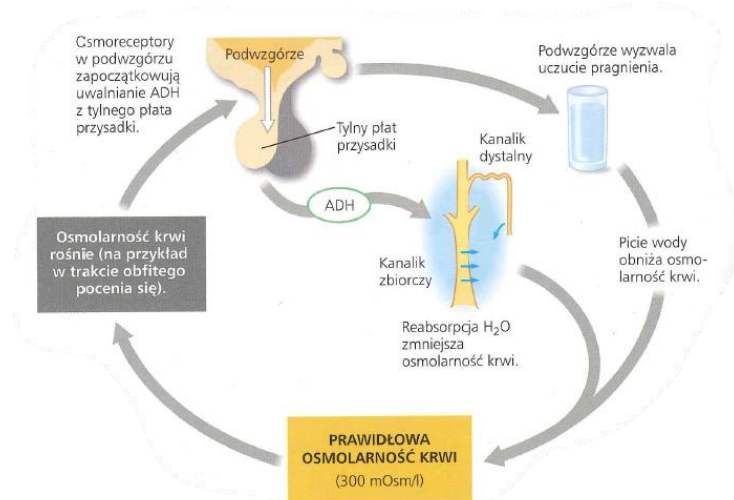
- Kanalik zbiorczy transportuje filtrat przez rdzeń do miedniczki nerkowej. Ostateczne przetwarzanie filtratu przez nabłonek transportujący kanalika zbiorczego tworzy mocz.

## HORMONALNA REGULACJA MECHANIZMÓW OSMOREGULACJI

- ❑ u ssaków zarówno objętość, jak i osmolarność moczu są dostosowywane w zależności od równowagi soli i wody oraz tempa produkcji mocznika.
- ❑ w sytuacji wysokiego poboru soli i małej dostępności wody ssaki mogą wydalac mocznik i sól w małych ilościach hiperosmotycznego moczu, przy minimalnej stracie wody.
- ❑ jeśli soli jest za mało, a pobór płynu duży, nerka może zamiast tego pozbywać się nadmiaru wody z niewielką utratą soli poprzez produkcję dużych objętości hiposmotycznego moczu (w niektórych przypadkach sięga to nawet osmolarności 70 mOsm/l).
- ❑ istnieją dwie główne pętle kontroli, które odpowiadają na różne bodźce, odtwarzają i utrzymują prawidłowy stan równowagi wody i soli.

## DZIAŁANIE HORMONU ANTYDIURETYCZNEGO (ADH), CZYLI WAZOPRESYNY

- ❑ Komórki osmoreceptorów w podwzgórzu monitorują osmolarność krwi i regulują uwalnianie ADH z tylnego płata przysadki mózgu.
- ❑ Kiedy osmolarność krwi **rośnie** (np. po słonym posiłku lub utracie wody wskutek pocenia się) i przekroczy pułap **300 mOsm/l**, rośnie ilość wazopresyny uwalnianej do krwiobiegu. W nerce, głównym miejscem działania ADH są kanaliki zbiorcze. Tam ADH powoduje zmiany, które prowadzą do zwiększonej przepuszczalności nabłonka dla wody. W rezultacie następuje zagęszczenie moczu, zredukowanie jego objętości i obniżenie osmolarności **krwi** do punktu wyjściowego.



## UKŁAD RENINA-ANGIOTENSYNA-ALDOSTERON

- ❑ układ ten (inaczej: RAAS) obejmuje **aparat przykłębuszkowy**, wyspecjalizowaną tkankę zbudowaną z komórek znajdujących się w okolicach tętniczki aferentnej, która dostarcza krew do kłębuszka.
- ❑ kiedy ciśnienie lub objętość krwi w tętnicy aferentnej spada (np. w wyniku odwodnienia), aparat przykłębuszkowy nerek uwalnia enzym **reninę**. Renina inicjuje ciąg zdarzeń, które prowadzą do rozszczepienia białka osocza zwanego *angiotensynogenem*, wytwarzając ostatecznie peptyd zwany **angiotensyną II**. Ta podnosi ciśnienie krwi przez skurcz tętniczym (jej antagonistą jest NO), co zmniejsza przepływ krwi do naczyń włosowatych nerki (i innych narządów).
- ❑ angiotensyna II stymuluje również korę nadnerczy do uwalniania hormonu zwanego **aldosteronem**. Ten powoduje, że kanalik dystalny i kanalik zbiorczy reabsorbują więcej  $\text{Na}^+$  (a tym samym wody), zwiększając objętość i ciśnienie krwi.