

ENERGETYKA WODNA (HYDROENERGETYKA) wykorzystuje energię wód płynących i stojących.

Energia *czysta* ekologicznie, tania, odnawialna.

Elektrownia wodna jako obiekt towarzyszący podstawowej budowli piętrzącej powstaje niewielkim kosztem. Nie wymaga licznego personelu jest łatwa w obsłudze. Możliwość łatwego i szybkiego włączenia i wyłączenia (wykorzystanie w szczycie).

Bogactwo rzek i jezior = mała energetyka wodna (znaczenie miejscowe lub współpraca z państwowym systemem energetycznym).

Barierą skutecznie blokującą dalszy rozwój energetyki wodnej w Unii Europejskiej jest rozpowszechnianie w jej państwach członkowskich przekonanie o szkodliwej ingerencji stopni wodnych w zastane środowisko przyrodnicze. Przekonanie to pozwoliło na takie sformułowanie i interpretację aktów prawnych stojących na straży ochrony zasobów wodnych i przyrody ożywionej, by można było je skutecznie wykorzystać do blokowania inicjatyw związanych nie tylko z energetyką wodną, ale również z ochroną przeciwpowodziową i szeroko rozumianą gospodarką wodną.

Uzyskanie szerokiego poparcia społecznego dla rozwoju energetyki wodnej jest możliwe, choć wymaga pracy organicznej związanej z upowszechnianiem wiedzy na temat wynikających stąd korzyści oraz dbałości o to, by nowe obiekty pozytywnie oddziaływały na otaczające je środowisko przyrodnicze (nawet wtedy, gdy wprowadzają do niego istotne zmiany). Działalność promocyjną na rzecz energetyki wodnej na terenie Unii Europejskiej prowadzi od lat Europejskie Stowarzyszenie MEW (ESHA). W poszczególnych krajach członkowskich działają organizacje pozarządowe reprezentujące sektor energetyki wodnej przed administracją rządową i samorządową. W Polsce organizacjami takimi są Towarzystwo Elektrowni Wodnych (TEW) i Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych (TRMEW). Polityka Unii Europejskiej, zobowiązująca poszczególne państwa członkowskie do wzrostu udziału OZE-E w ich bilansie energetycznym i zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, a także działalność organizacji pozarządowych związanych z sektorem OZE sprawiły, że w ciągu ostatniej dekady (2001- 2010) w wielu państwach doszło do wyraźnej poprawy warunków ekonomicznych działania elektrowni wodnych. W Polsce świadectwem tych zmian są zmiany w Prawie Energetycznym, które doprowadziły do wprowadzenia rynku zielonych certyfikatów (praw majątkowych do świadectw pochodzenia energii elektrycznej).

Ze względów ekologicznych i społecznych najbardziej pożądana jest budowa małych elektrowni wodnych. MEW cechują się brakiem wad typowych dla dużych inwestycji tego rodzaju; nie istnieje zwłaszcza lub jest zminimalizowana konieczność wysiedlenia mieszkańców z zalewanych terenów, co zwykle spotyka się ze zrozumiałym oporem społecznym. Znikome są także zmiany w przyrodzie i mikroklimacie. Małe elektrownie wodne są oczywiście znacznie tańsze w budowie od dużych. Eksperci szacują, że przy obecnych cenach energii elektrycznej w Polsce koszt budowy MEW wznoszonej od podstaw zwraca się po 8 - 10 latach eksploatacji, a przy wykorzystaniu istniejących budowli spiętrzających - już po sześciu latach, a nawet wcześniej. Istotne jest, że po tym okresie koszty eksploatacji MEW są niewielkie i sprowadzają się głównie do bieżącej konserwacji i nadzoru.

Najważniejsze dokumenty niezbędne do rozpoczęcia budowy małej elektrowni wodnej to, poza **operatem wodno-prawnym, projektem hydrotechnicznym elektrowni wodnej, projektem technologicznym i umową z zakładem energetycznym** na przyłączenie elektrowni do sieci przesyłowej i zakup energii elektrycznej.

Wielkość energii (E) wód płynących lub zgromadzonych w zbiornikach (V) zależy od wielkości przepływu (Q) i spadku lub różnicy wysokości (H):

$$E = \gamma \cdot V \cdot H \quad \gamma - \text{ciężar właściwy wody}$$

Moc (P) –teoretyczna, surowa (brutto):

$$P = E/T = \gamma \cdot V \cdot H/T \quad P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad T - \text{czas,}$$

moc odcinka rzeki: Q – przepływ w rzece, H - różnica poziomów na początku i końcu odcinka rzeki, **moc turbiny** jest to moc przekazywana z wału turbiny na wał generatora (moc na wale) Q - przepływ instalowany, H - ustalony spad użyteczny, straty:

- objętościowe (niepełne wykorzystanie objętości przepływu z powodu nieszczelności),
- straty hydrauliczne – straty wysokości ciśnienia (uderzanie wody o łopatki wirnika, zawirowania, tarcie...),
- straty mechaniczne (tarcie części ruchomych o nieruchome).

Sprawność objętościowa, hydrauliczna i mechaniczna:

$$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m \approx 0,75 \div 0,925$$

moc użyteczna turbiny:

$$P = \eta_t \cdot \gamma \cdot Q \cdot H$$

Przełyk turbiny – przepływ instalowany ustala się na podstawie analizy optymalizacyjnej. Orientacyjnie:

- dla elektrowni przepływowych $Q_i = (0,5 \div 1,0)$ SSQ,
- dla zbiornikowych z wyrównaniem dobowym $Q_i = (1,0 \div 2,0)$ SSQ,
- przy zbiornikach retencyjnych $Q_i = (2,0 \div 5,0)$ SSQ.

Spad użyteczny (netto) – spad rozporządzalny do wykonania pracy przez turbinę (uwzględnia straty występujące w czasie pracy turbiny).

moc generatora

Sprawność generatora wynika z:

- strat spowodowanych opornością omową,
- strat wskutek namagnesowania,
- strat we wzbudnicy i maszynach pomocniczych,
- strat w łożyskach,
- strat wynikających z oporów powietrza części wirujących,
- strat wentylatorów, pomp wodnych i olejowych jeśli są napędzane od wału generatora

stąd **moc czynna generatora**:

$$P = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \gamma \cdot Q \cdot H$$

$$\eta_g \approx 0,85 \div 0,97$$

Generatory wytwarzają również **moc bierną**, która wyrównuje straty indukcyjne i pojemnościowe. Obliczane są natomiast na **moc pozorną** – sumę wektorową mocy czynnej i biernej. Stosunek mocy czynnej do pozornej ($\cos\phi$) to tzw. **współczynnik mocy**. Generator charakteryzują: moc pozorna, współczynnik mocy, liczba obrotów na minutę oraz częstotliwość prądu (50 Hz).

moc elektrowni wodnej - moc oddawana do sieci energetycznej - poza sprawnością turbiny i generatora uwzględnia również sprawność systemu (straty na drodze przesyłu kable, szyny, przełączniki, transformatory...):

$$\eta = \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_s$$

$$\eta_s \approx 0,8 \div 0,98$$

Planowanie małej elektrowni wodnej

Ostateczny projekt lub układ elektrowni stanowią wynik złożonego procesu iteracyjnego, uwzględniającego oddziaływanie na środowisko oraz różne opcje techniczne. Są one następnie przedmiotem oceny kosztów i analizy ekonomicznej.

Wytyczne wstępne:

- Zbadanie topografii i geomorfologii terenu
- Ocenę zasobów wodnych i potencjału hydroenergetycznego
- Wybór lokalizacji i opracowanie koncepcji wstępnej
- Ocenę oddziaływania na środowisko oraz dobór środków zaradczych
- Dobór turbin, generatorów i ich układów regulacji
- Ocenę ekonomiczną projektu oraz rozpoznanie możliwości finansowania
- Rozpoznanie ram instytucjonalnych oraz procedur administracyjnych wymaganych dla uzyskania niezbędnych pozwoleń

Wytwarzanie energii elektrycznej we wszystkich elektrowniach wodnych zależy od dostępnego przepływu wody i jej piętrzenia. To sprawia, iż produkcja energii w dużej mierze zależy od lokalizacji elektrowni. Wymagany jest pewny i wystarczający przepływ wody.

Warunki topograficzne miejsca muszą umożliwiać koncentrację stopniowego spadku rzeki w jednym miejscu w sposób zapewniający spad wystarczający do generacji energii. Spad ten można wytworzyć za pomocą zapór lub prowadząc wodę w sztucznym kanale, np. biegnącym wzdłuż do rzeki, lecz charakteryzującym się niskimi stratami spadku w porównaniu z naturalnym ciekami. Często stosuje się kombinację obydwu sposobów.

Zaplanowanie energetycznego wykorzystania odcinka rzeki lub konkretnego miejsca jest jednym z największych wyzwań, przed którymi staje inżynier hydroenergetyk. Istnieje bowiem nieograniczona liczba sposobów praktycznego wykorzystania potencjału rzeki lub konkretnej lokalizacji.

Pierwszym krokiem jest zawsze rozpoznanie, czy istnieją rejestry pomiaru przepływu w danym odcinku rzeki. Jeżeli nie, to należy sprawdzić, czy zapisów takich nie ma dla innych odcinków tej samej rzeki lub pobliskiej rzeki, co pozwoliłoby na ich odtworzenie dla odcinka będącego przedmiotem zainteresowania. W przypadku braku takich danych spodziewane przepływy w rzece można oszacować na podstawie ilości opadów w zlewni, nachyleniu terenu i współczynnikach spływu gruntów występujących w zlewni. Metody bezpośrednie (statystyczne), analogii hydrologicznej lub empiryczne.

Wyznaczanie spadku niwelacyjnego (brutto)

Spad niwelacyjny (zwany również spadem brutto) to różnica rzędnych zwierciadła wody przed (woda górna) i za (woda dolna) planowanym obiektem hydroenergetycznym.

W warunkach terenowych pomiar spadku brutto prowadzi się zwykle przy użyciu przyrządów geodezyjnych.

Wymagana dokładność ogranicza liczbę metod pomiarowych.

Określanie spadku użytecznego (netto)

Spad netto opisuje energię jednostkową (energię przypadającą na jednostkę ciężaru wody), jaką przepływająca woda traci w turbinie. Energia ta wyrażona jest w metrach słupa wody.

Z uwagi na zależność przyspieszenia ziemskiego od współrzędnych geograficznych, nie jest to parametr precyzyjnie opisujący warunki pracy turbiny i we współczesnych normach często bywa zastępowany przez energię odniesioną do jednostki masy cieczy, wyrażoną w J/kg.

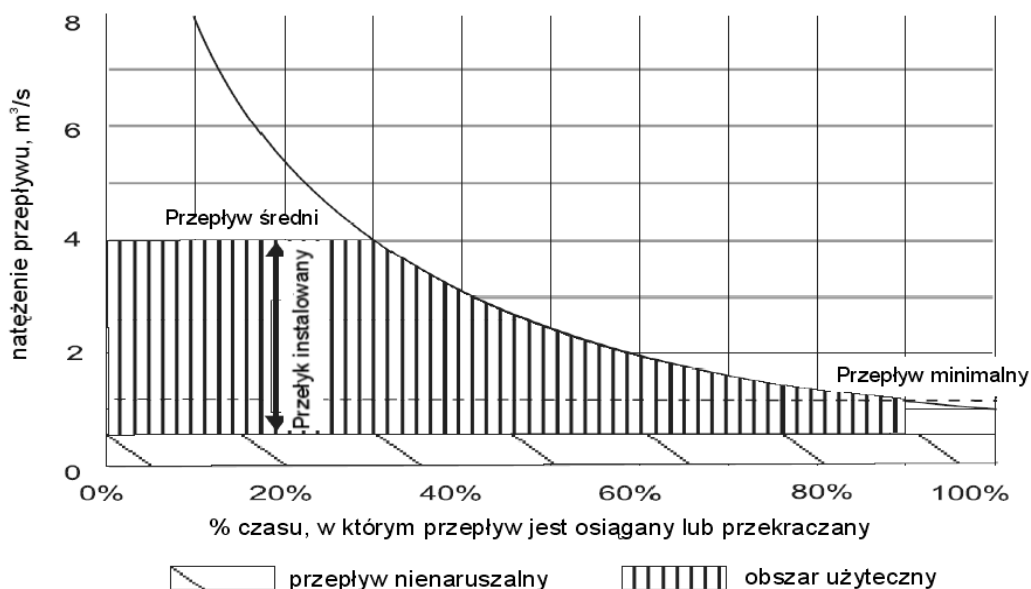
W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że spad netto uzyskuje się odejmując od spadku niwelacyjnego straty spadku na kratach, straty tarcia w rurociągu, na jego łukach i w zaworach itp.

Nie wolno zapomnieć, że wypływ wody z niektórych turbin odbywa się nad zwierciadłem dolnej wody (dotyczy to np. turbin Peltona). W końcu wypływ wody z turbiny z pewną prędkością oznacza również stratę energii kinetycznej.

Określanie mocy i produkcji energii elektrowni

Krzywa sum czasów trwania przepływów dostarcza narzędzi do prawidłowego doboru przełyku instalowanego (przepływu projektowego) elektrowni, a po uwzględnieniu przepływu nienaruszalnego i minimalnego przepływu technicznego przez turbinę – szacunkową moc elektrowni i średnioroczną produkcję energii.

Na rysunku pokazano krzywą sum czasów przepływów dla ocenianej lokalizacji. Przełyk instalowany dobiera się w wyniku optymalizacji iteracyjnej. Uzyskiwany w ten sposób optymalny przełyk instalowany jest z reguły znacznie wyższy niż przepływ średnioroczny pomniejszony o przepływ nienaruszalny.



Na rysunku pokazano również użyteczny obszar krzywej sum czasów trwania przepływów. Każda dobrana turbina posiada pewien minimalny przepływ techniczny (z niższym natężeniem przepływu turbina albo nie może pracować albo pracuje z bardzo niską sprawnością), a jej sprawność jest funkcją przepływu eksploatacyjnego.

Typ turbiny	Q_{min} (% Q_{inst})
Francis	50
Semikaplan	30
Kaplan	15
Pelton	10
Turgo	20
Śmigłowa	75

Zależnie od przepływu przez rzekę i przepływu przez turbiny może dochodzić do znaczących zmian spadów.

Poziom wody górnej może zmieniać się z przepływem. Jeśli regulacja pracą zbiornika wlotowego dokonywana jest za pomocą jazu przelewowego bez jakichkolwiek zamknięć ruchomych, to w przypadku dużych wezbrań poziom wody będzie rosł z przepływem. Jednakże, jeśli odpływ ze zbiornika wlotowego jest regulowany zamknięciami celem zapewnienia pracy przy określonym poziomie zbiornika, to poziom wody pozostanie w pewnych granicach stały nawet podczas dużych wezbrań. W okresach niskich przepływów poziom wody górnej może być również niższy z uwagi na pobory wody.

Straty spadów w układzie doprowadzenia wody zmieniają się z przepływem. W miarę wzrostu przepływu przez turbinę rosną też straty spadów. Spad netto zmienia się zatem z przepływem. Z tego powodu zawsze powinno się wskazywać, jakiemu natężeniu przepływu spad ten odpowiada. Dobrze zwymiarowany układ z małymi stratami spadów pozwala ograniczyć względny wpływ tych zmian na produkcję energii elektrycznej.

Poziom wody dolnej może również zmieniać się z przepływem. Podobnie, jak w przypadku ujęcia wody, zmiany te mogą być bardzo niewielkie, jeśli dysponuje się możliwością regulacji poziomu wody dolnej, np. w postaci zbiornika z regulowanymi zamknięciami. W przypadku odpływu wody do naturalnego cieku poziomy wody mogą jednak zmieniać się bardzo znacząco. W przypadku elektrowni średnio- i wysokospadowych spad może być uważany za stały, ponieważ zmiany poziomu wody górnej są małe w porównaniu ze spadem. Inaczej jest w elektrowniach niskospadowych.

Zmiany przepływu w rzece mogą powodować znaczące, lecz zróżnicowane, zmiany poziomu wody górnej i dolnej. W rezultacie spadek może ulec poważnej zmianie w porównaniu ze spadkiem nominalnym.

Moc gwarantowana

Moc gwarantowaną definiuje się jako moc, która może być dostarczana przez określoną elektrownię przez pewien czas w ciągu dnia z pewnością równą przynajmniej 90 - 95 %. Elektrownie przepływowe posiadają niską moc gwarantowaną, moc gwarantowana elektrowni zbiornikowych jest zaś znaczna.

Jeśli elektrownia ma być podłączona do sieci elektroenergetycznej, w której działa kilka rodzajów elektrowni i w której elektrownie wodne są rozproszone geograficznie, jak to ma miejsce w Europie, to moc gwarantowana poszczególnych elektrowni może nie mieć istotnego znaczenia. Jeśli jednak małą elektrownię wodną zbudowano jako jedyne źródło zasilania wydzielonego obszaru, to moc gwarantowana jest nadzwyczaj istotna.

Elektrownia to kompleks budowli hydrotechnicznych i urządzeń przeznaczonych do przekształcania energii wodnej w elektryczną. Składa się z:

- budowli wywołującej spiętrzenie i ujęcia wody,
- przewodów doprowadzających wodę do turbin (kierownica, spirala),
- przewodów odprowadzających wodę (rura ssąca),
- budynku siłowni (turbiny, generatory...)

Wyposażenie elektryczne obejmuje:

- generatory (zamiana energii mechanicznej na elektryczną),
- transformatory (podniesienie napięcia w celu przesłania energii do odbiorców),
- urządzenia rozdzielcze (skierowanie i przekazanie energii do właściwych torów przesyłowych i zasilanie obwodów dla potrzeb własnych)
- pomocnicze urządzenia napędowe,
- urządzenia ochronne,
- urządzenia sterowania i automatyki.

Generatory synchroniczne produkujące prąd zmienny trójfazowy o częstotliwości 50 Hz. Nieruchomy pierścień (stator) + ruchome koło (rotor). Na rotorze określona ilość par biegunów magnesów zależna od ilości obrotów generatora.

W małych elektrowniach czasem generatory asynchroniczne.

Ujęcia wody – elementy:

- niezależna lub wkomponowana w budowlę piętrzącą konstrukcja ujęcia,
- urządzenia chroniące przed lodem, krą i dużymi przedmiotami pływającymi – fartuchy lodowe i kraty rzadkie,
- urządzenie chroniące przed zanieczyszczeniami i chroniące ryby – kraty gęste,
- zamknięcia dopływu wody do turbin,
- zamknięcia rezerwowe i awaryjne,
- urządzenia do czyszczenia krat,
- dźwigi robocze,
- urządzenia pomocnicze (przewody obiegowe, napowietrzniki, włazy...)

Obliczenia obejmują:

- dobór czynnych przekrojów i prędkości wody dla określonego przepływu i poziomów wody,
- analiza usytuowania ujęcia ze względu na układ strug wody i osadzanie rumowiska,
- kontrola warstwy wody nad górną krawędzią wlotową (zabezpieczenie przed napowietrzaniem rurociągów i sztolni),

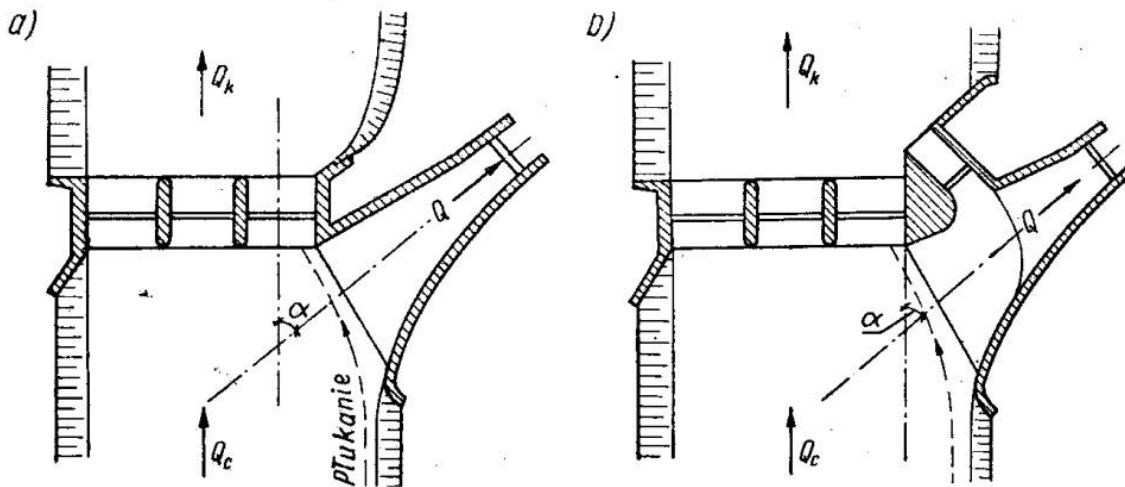
- określenie strat na fartuchach lodowych, kratkach, przy zmianach przekrojów, kierunków przepływu, we wnękach zasuw...

Usytuowanie wlotu do ujęcia:

- w zbiorniku, przy niewielkich prędkościach i całkowitym przykryciu wodą usytuowanie ze względów hydraulicznych dowolne (decyduje konstrukcja, topografia, geologia...),
- w rzece lub kanale zależy od prędkości wody, ilości prowadzonego rumowiska i lodu, względy pozahydrauliczne,
- ilość rumowiska zależy od ilości kierowanej do kanału wody

Wlot do ujęcia ze względu na ruch rumowiska:

- przy końcu zewnętrznego łuku,
- na ostrym łuku,
- zmniejszenie piętrzenia,
- stosowanie kierownic, progów i urządzeń płuczących (z osadnikami)



Rys. 3-16. Usytuowanie wlotów do kanału energetycznego na prostym odcinku rzeki [65]: a) z płukaniem przez jaz, b) z osobnym kanałem płuczącym

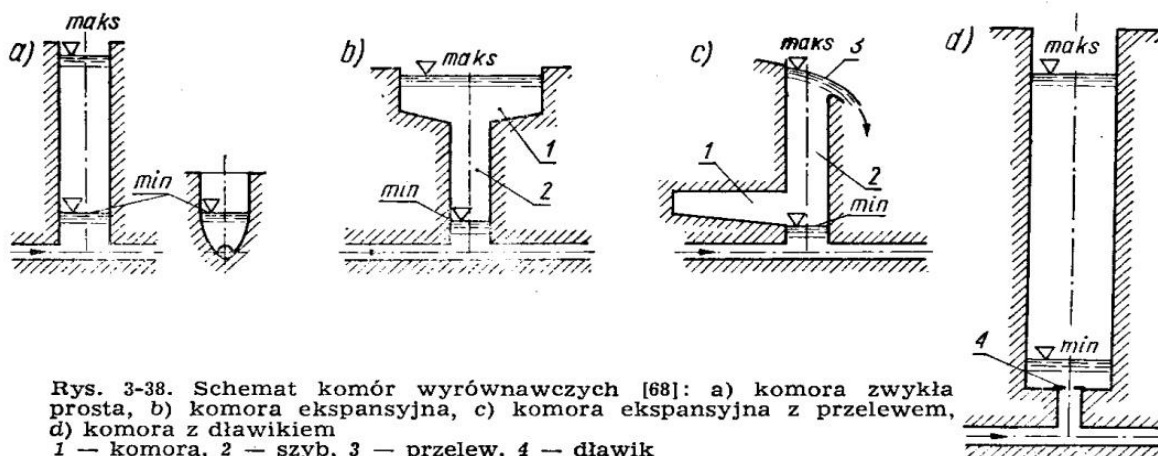
Kanały energetyczne – ich wymiary wynikają z kryteriów ekonomicznych (nie ma ograniczeń wymiarów i prędkości jak w kanałach żeglugowych). Obliczenia wymagają analizy stanu ustalonego oraz nieustalonego, wywołanych gwałtownymi zmianami przepływu. Właściwe wymiarowanie:

- małe zajęcie terenu,
- mała głębokość,
- mały przekrój,
- mały obwód zwilżony (koszty okładziny),
- właściwy dobór prędkości (rozmycie i zamulenie)

Woda do siłowni może być doprowadzona również kanałami zamkniętymi (o różnych przekrojach poprzecznych; sztolnie beciśnieniowe lub ciśnieniowe – wypełnione wodą, o przepływie decydują poziomy wody a nie spadek dna)

Ostatnie ogniwo pomiędzy zbiornikiem lub ujściem wody a turbiną stanowią rurociągi. Wyłącznie o przekroju kołowym – sprawdza się natężenie przepływu, straty na długości i lokalne.

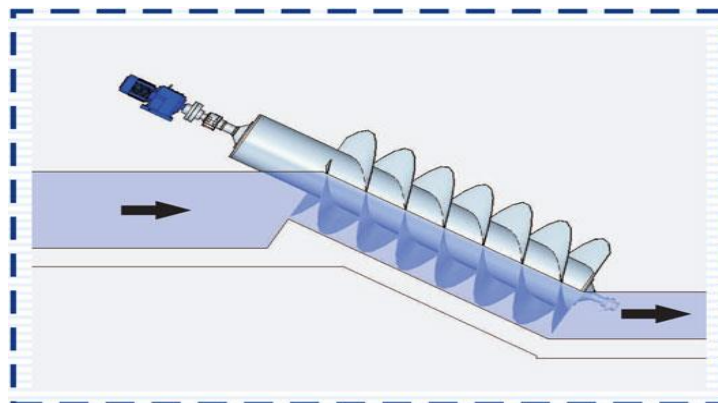
W przewodach doprowadzających wodę do siłowni występują szybkie zmiany przepływu wywołujące w kanałach falę, a w przewodach zamkniętych wzrost lub obniżenie ciśnienia (konieczna wytrzymałość na rozerwanie i zgniecenie). Zmniejszenie uderzenia hydraulicznego oraz ochrona sztolni uzyskuje się przez komory wyrównawcze.



Rys. 3-38. Schemat komór wyrównawczych [68]: a) komora zwykła prosta, b) komora ekspansyjna, c) komora ekspansyjna z przelewem, d) komora z dławikiem
1 – komora, 2 – szyb, 3 – przelew, 4 – dławik

Rodzaje turbin:

- **odrzutowe** (reakcyjne, naporowe) pracują wskutek działania reakcji wody:
 - śmigłowe,
 - Kaplana,
 - Francisa,
 - Deriaza
- **strumieniowe** (akcyjne, natryskowe):
 - Peltona,
 - Banki



Turbiny ślimakowe dzięki swojej konstrukcji (duża średnica wirnika), bardzo małym obrotom i grawitacyjnej zasadzie działania są przyjazne dla ryb, które swobodnie przepływają przez turbinę bez szkody dla siebie. Też inne organizmy żyjące w rzece przepływają przez wirnik traktując go jako bystrotok. To samo dotyczy liści, gałęzi i rumowiska w nurcie rzeki. Ponieważ nie odbija się to negatywnie dla produkcji energii elektrycznej, nie musimy instalować gęstych krat i zbędne są czyszczarki. Zalety:

Dużo niższe koszty budowy w porównaniu z tradycyjnymi turbinami wodnymi

- Zastosowanie na małych spadach
- Jednolita, zwarta i prosta konstrukcja
- Długa żywotność
- Wysoka sprawność
- Działanie przy bardzo małych przepływach (przy 20% przepływu sprawność już 74%)
- Prosta obsługa - niskie nakłady eksploatacyjne
- Nie występuje zjawisko kawitacji
- Łatwość montażu w jazach
- Zbędne są gęste kraty i czyszczarki krat
- Układ przyjazny dla ryb i środowiska naturalnego