

H Y D R A U L I K A .

1. Znajdujące się w przyrodzie ciała wystawiamy sobie złożone z drobnych cząstek, czyli inaczej uważamy ciała, jak układ cząstek.

Cząstki te mogą chowywać się względem siebie w odmienny sposób, leżnie od natury ciała.

Jeśli cząstki danego ciała są tak ze sobą połączone, że przesunięcie jednych cząstek względem innych udaje się dopiero pod działaniem znaczniejszych sił,, wówczas takie ciało nazywamy STAŁEM.

Ciało, utworzone z cząstek, bardzo łatwo, prawie bez oporu, przesuwających się jedne względem drugich, nazwiemy ciałem NIESTAŁEM lub PLYNEM.

2. Ciała stałe dzielimy na takie, których cząstki są ze sobą tak mocno powiązane, że niema możliwości oddzielenia jednych cząstek od drugich, i na takie, których cząstki dają się przesuwąć jedne względem drugich przy zastosowaniu mniejszej lub większej pracy zewnętrznej. Pierwszego rodzaju ciała stałe nazywamy SZTYWNEMI, ciała drugiego rodzaju nazywamy SPREŻYSTEMI.

3. Zaznaczyć tu należy, że ciała SZTYWNE, w doskonałym rozumieniu tego wyrazu - w naturze nie istnieją; tylko zakładamy istnienie takich ciał, gdyż takie założenie ułatwia nam poznanie wielu praw,

rzadzących ruchem i wogóle zachowaniem się ciał rzeczywistych, jakkolwiek nie zupełnie sztywnych, poddanych działaniu sił zewnętrznych. Określeniem i formułowaniem tych praw zajmuje się **MECHANIKA UKŁADÓW SZTYWNYCH.**

4. Również ciał stałych do ciał sprężystych nie znamy; rozumieć należy to tak, że nie ma takich ciał, któreby przy dowolnych siłach zewnętrznych pozwalały na zmianę w układzie cząstek, na zmianę kształtu ciała, bez zniszczenia całości ciała. Przy pewnych co do wartości zresztą ograniczonych siłach, zmiany w układzie cząstek są możliwe.

Zachowaniem się ciał sprężystych i prawami, rządzącymi zmianą ciał sprężystych przy stosowaniu w pewnej mierze ograniczonych sił, zajmuje się **MECHANIKA CIAŁ SPRĘŻYSTYCH**, albo **NAUKA O WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW.**

5. Jeśli przejdziemy do ciał niestałych, inaczej, płynów, będziemy mogli wyodrębnić dwa wyraźne rodzaje płynów. Jeden rodzaj stanowią będą te płyny, które pod działaniem sił ściskających prawie że nie zmieniają objętości i drugi rodzaj - te płyny, które są bardzo ściśliwe, a które po ustaniu działania sił ściskających odzyskują pierwotną objętość. Pierwszy rodzaj płynów nazywamy **CIECZAMI**, drugi - **GAZAMI**.

Prawa, określające zachowanie się cieczy, względ-

nie gazu, pod działaniem sił zewnętrznych, są rozpatrywane w MECHANICE CIECZY, WZGL. GAZU. Mechanika cieczy, traktująca sprawę nie wyłącznie teoretycznie, lecz w zastosowaniu do zagadnień natury technicznej, nosi nazwę HYDRAULIKI.

Gazy w wielu przypadkach zachowują się podobnie do cieczy; stąd te niektóre prawa, otrzymane w hydraulice dla cieczy znajdują zastosowanie, z niewielkimi zresztą poprawkami, i dla gazów.

Badanie zachowania się gazów w innych ogólniejszych przypadkach wymaga uwzględnienia zjawisk cieplnych, co daje wyniki odmienne i bardziej złożone niż dla cieczy.

6. Nauka, którą w wykładzie niniejszym mamy rozwinąć, jest hydraulika; należy zatem bliżej poznać zasadniczy przedmiot badania, to jest ciecz.

Rozpatrując szereg cieczy, w naturze spotykanych, zobaczymy wielką ich różnorodność i różne ich właściwości fizyczne. Badając bliżej różne ciecze przy jednych i tych samych warunkach, zauważymy, że zachowanie się tych cieczy będzie różne, zależne od ich właściwości. Uwzględnienie tych właściwości powoduje przy teoretycznych rozważaniach poważne trudności. Skutkiem tego postąpimy w taki sposób: wyobrażamy sobie ciecz o właściwościach fizycznych dość bliskich do właściwości tych cieczy rzeczywistych, z którymi

najczęściej będziemy mieli do czynienia, a więc przede wszystkim z wodą. Pewne właściwości nawet odrzucamy, aby tą drogą ułatwić sobie teoretyczne badanie cieczy.

W ten sposób dochodzimy do mechanice cieczy, względnie w hydraulice do cieczy rzeczywistej, lecz t.zw. CIECZY DOSKONAŁEJ. Wyniki teoretyczne, otrzymane przy rozważaniu cieczy doskonałej, będą się, oczywiście, odchylały, od tego, co w naturze będziemy obserwowali; odchylenia będą tem większe, im bardziej właściwości cieczy rzeczywistej, mogące wpłynąć na badane zjawisko, odbiegają od właściwości, założonych dla cieczy doskonałej.

Aby wyniki teoretyczne uzgodnić z tem, co mamy otrzymać w rzeczywistości, poprawiamy je przy pomocy odpowiednich współczynników, które określamy na podstawie badań laboratoryjnych lub pomiarów w naturze.

7. Rozważmy ważniejsze własności fizyczne cieczy rzeczywistych i ustalmy, co nazwiemy cieczą doskonałą.

Ciecze są naogół mało ściśliwe; to znaczy, że trzeba zastosować bardzo znaczne siły, aby zmniejszyć daną objętość cieczy w sposób nieznaczny.

Naprz. woda o temperaturze 0°C . przy zwiększeniu ciśnienia o 1 atmosferę zmniejsza objętość o 0,00005 pierwotnej objętości.

Woda o temp. 20°C . przy takich samych warunkach zmniejsza objętość o 0,000044 pierwotnej objętości.

Woda o temperaturze 100°C . o 0,000042.

Dla porównania warto przytoczyć dane o ściśliwości kilku ciał

Miedź zmienia objętość o 0,00000083 pierwotnej objętości przy zwiększeniu ciśnienia o 1 atmosferę;

mosiądz w tych samych warunkach o 0,00000092,

ołów o 0,0000027,

stal o 0,00000066,

szkło o 0,0000021.

Inaczej mówiąc, jeśli weźmiemy przy zwykłym ciśnieniu 1000 litrów wody o temperaturze 0°C . i zwiększymy ciśnienie

do 5 atmosfer, wówczas otrzymamy objętość 999,8 lit.

do 10 " " " " 999,5 "

do 20 " " " " 999,0 "

do 30 " " " " 998,5 "

Alkohol o 14°C . zmniejsza objętość o 0,0001 przy zwiększeniu ciśnienia o 1 atmosferę.

Jak widzimy z tego, woda w warunkach zwykłych bardzo mało zmniejsza objętość nawet przy znacznych ciśnieniach.

Wobec tego możemy wpływu ciśnienia na objętość cieczy w bardzo wielu zagadnieniach zupełnie nie

uwzględniać. Możemy więc zgodzić się na to, że
CIECZ DOSKONAŁA JEST ZUPEŁNIE NIEŚCISLIWA.

8. Ciecze wogóle odróżniają się od ciał stałych wielką ruchliwością, co się objawia tem, że dwie sąsiednie cząsteczki można przesunąć jedną względem drugiej przy użyciu bardzo małej siły. - Różną ruchliwość rozmaitych cieczy tłumaczymy sobie rozmaitą lepkością cieczy. Lepkość powoduje to, że dwie cząstki sąsiednie, przesuwające się względem siebie w pewnej płaszczyźnie doznają między sobą tarcia, które działa jako siła w płaszczyźnie ruchu, mająca kierunek przeciwny kierunkowi prędkości względnej. Tarcie to może się pojawiać nie tylko między dwiema cząstkami, dotykającymi się wzajemnie, poruszającymi się z różnymi prędkościami, lecz może zachodzić między cząstkami cieczy, poruszającymi się tuż obok powierzchni ścianki naczynia lub przewodu. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z TARCIEM WEWNĘTRZNEM, w drugim zaś z TARCIEM ZEWNĘTRZNEM. Sprawa tarcia wewnętrznego i zewnętrznego jest bardzo zawiła; dla tego też zwykle rozpatrujemy ciecz, jako POZBAWIONĄ LEPKOŚCI; będzie to t.zw. CIECZ DOSKONAŁA.

9. Z natury samej lepkość cieczy objawia się tylko wówczas, kiedy cząstki cieczy znajdują się w ruchu jedno względem drugich, albo względem ścia-

nek naczynia. Kiedy zaś ciecz znajduje się w spoczynku, wówczas istnienie lepkości nie ma wpływu na zachowanie się cieczy.

Stąd łatwo wywnioskować, że prawa, otrzymane dla cieczy doskonałej, znajdującej się w spoczynku, będą zupełnie ścisłe dla wszystkich cieczy, nawet o znacznej lepkości.

W przypadku zaś ruchu cieczy lepkość odgrywa bardzo dużą rolę i nieraz znacznie zmienia wyniki, otrzymane dla cieczy doskonałej.

Jak stosować twierdzenia i wzory, otrzymane dla będącej w ruchu cieczy doskonałej, a więc bez lepkości, jak te wzory uzupełniać, będzie o tem mowa niżej.

10. Przytoczymy niżej kilka liczb, wskazujących na różnorodność cieczy pod względem tarcia wewnętrznego /lepkości/, mierzonego w pewnych jednostkach $\left/ \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} \cdot \text{sek.} \right/$

Woda o temp.	0°C.	-	0,0181	jednostek
"	"	10°C.	-	0,0133 "
"	"	20°C.	-	0,0102 "
"	"	30°C.	-	0,0081 "
"	"	50°C.	-	0,0057 "
rtęć	"	0°C.	-	0,0170 "
"	"	99°C.	-	0,0122 "

alkohol etylowy przy temp.	0°C.	-	0,0185
" " " "	50°C.	-	0,0072
eter etylowy " "	20°C.	-	0,0026
kwas siarkowy " "	20°C.	-	0,2193
gliceryna " "	2,8°C.	-	42,2
" " " "	26,5°C.	-	4,9
smoła " "	6°C.	-	2200 x 10 ⁶
" " " "	12°C.	-	250 x 10 ⁶

11. Wielka ruchliwość cząstek cieczy powoduje to, że ciecz sama nie może zachować kształtów określonych, lecz przybiera kształt ciał stałych, z którymi się styka.

12. Ciecze, jak i ciała stałe, pod wpływem temperatury zmieniają objętość, lecz też nieznacznie.

Naprz. 1000 litrów wody odmierzone przy temp. +4°C. po nagrzaniu do 10°C. rozszerzą się do 1000,27 litrów

"	"	do 20°C.	"	"	"	1001,77	"
"	"	do 30°C.	"	"	"	1004,34	"
"	"	do 100°C.	"	"	"	1043,10	"
zaś po ochłodzeniu do 0°C.		"	"	"	"	1000,13	"

Inne ciecze również nieznacznie powiększają objętość przy nagrzaniu.

Stąd możemy przyjąć, że ciecz doskonała jest NIEWRAŻLIWA NA ZMIANY TEMPERATURY.

13. Na podstawie poprzedniego to samo powiemy

o ciężarze właściwym różnych cieczy i stąd wynika przyjęcie, że CIĘŻAR WŁAŚCIWY CIECZY DOSKONAŁEJ jest stały, niezależny od ciśnienia i temperatury.

Dla pamięci przytaczamy ciężary właściwe kilku ważniejszych cieczy:

Woda /przy 4°C./ czysta 1 gr/cm³, albo 1000 kg/m³

Woda morska 1,02 - 1,03 gr/cm³., albo
1020 - 1030 kg/m³.

Nafta lub ropa 0,76 - 0,83 gr/cm³, albo
760 - 830 kg/m³.

Benzyna 0,69 - 0,70 gr/cm³, albo
690 - 700 kg/m³.

Gliceryna /18°C./ 1,24 gr/cm³, albo 1240 kg/m³,

Rtęć /15°C./ 13,56 gr/cm³, albo 13560 kg/m³,

Alkohol etylowy /100 %/

przy 10° 0,80 gr/cm³, albo 800 kg/m³.

14. Cząstki cieczy wzajemnie się przyciągają.

Wobec tego ciecz zdolna jest okazać opór przy rozrywaniu lub ścinaniu, podobnie jak to obserwujemy w ciałach stałych. Jednak siły, potrzebne do rozerwania lub ścięcia cieczy są małe; specjalnie dla wody, o której prawie wyłącznie będzie się tu mówić, siły te są bardzo małe. Naprz. woda przy temp. 12°C. wykazuje wytrzymałość na rozrywanie 0.00037 kg/cm², na ścinanie

$0,000263 \text{ kg/cm}^2$, kiedy żelazo ma 4000 kg/cm^2 i 2800 kg/cm^2 . Stąd możemy łatwo przyjąć, że CIECZ DOSKONAŁA NIE WYWIERA ŻADNEGO OPORU NA ROZCIĄGANIE ANI NA ŚCINANIE.

15. Zatem, jeśli na pewien element powierzchni, ograniczającej ciecz doskonałą, działa zewnętrzna siła powierzchniowa, to w przypadku równowagi cieczy ta siła winna być NORMALNA do elementu powierzchni i skierowana DO WNETRZA cieczy.

16. Ponieważ niektóre twierdzenia, otrzymane w hydraulice, znajdują zastosowanie i dla gazów, jak to było zauważone w art. 5, przeto nie zawadzi w kilku słowach podać właściwości GAZU DOSKONAŁEGO, z którym w obliczeniach będziemy mieli do czynienia, oraz ważniejsze tu dla nas właściwości gazów rzeczywistych.

17. Przedewszystkiem przyjmować będziemy, że gaz doskonały jest doskonale sprężysty, to znaczy, że objętość gazu doskonałego przy niezmienniej temperaturze jest stale odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia /prawo Boyle'a--Mariotte'a/. W rzeczywistości ten stosunek nie jest tak prosty; naprz. powietrze przy znaczniejszych ciśnieniach /powyżej 250 - 300 atmosfer/ powolniej zmniejsza objętość, niżby to wynikało z prawa Boyle-Mariotte'a.

18. Temperatura wpływa na stan gazu doskona-

tego według prawa Gay-Lussac'a, że przy stałym ciśnieniu objętości gazu są proporcjonalne do temperatury bezwzględnej. Przypominamy, że temperaturą bezwzględną nazywamy temperaturę odczytaną ze skali, której zero znajduje się o 273° niżej normalnego 0 skali Celsjusza. W rzeczywistości ten stosunek też nie jest taki prosty; jednak wahania są nieznaczne.

19. Ciężar właściwy gazu doskonałego, podawany zwykle w kg/m^3 przy temperaturze 0°C i przy ciśnieniu 1 atm. / = 760 mm.sł.rt. / przy zmianie ciśnienia i temperatury zmienia się, gdyż objętość tego gazu zmienia się, a mianowicie:

Ciężar właściwy gazu doskonałego jest proporcjonalny do ciśnienia przy stałej temperaturze i odwrotnie proporcjonalny do temperatury bezwzględnej przy stałym ciśnieniu.

Poniżej przytaczamy kilka liczb, wskazujących na ciężar właściwy gazów przy ciśnieniu = 760 mm.sł.rt.

	przy temp. 0°C .	przy temp. 15°C .
powietrze -	1,293 kg/m^3	1,188 kg/m^3
tlen	1,429	1,312
azot	1,251	1,151
wodór	0,0899	0,0827
chlor	3,221	2,957
gaz świetlny	0,71 - 0,92	0,657

20. Gazy, podobnie jak i ciecze, posiadają lepkość bardzo nieznaczną i znacznie mniejszą niż ciecz. Dlatego tem słuszniej możemy przyjąć, że GAZ DOSKONAŁY NIE POSIADA LEPKOŚCI.

Przytaczamy niżej kilka liczb, dotyczących lepkości kilku gazów:

Powietrze przy	0° C.	-	0,000171	$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sek}}$
"	" 100° C.	-	0,000211	"
Azot przy	0° C.	-	0,000165	"
"	" 100° C.	-	0,000208	"
Tlen	" 0° C.	-	0,000187	"
"	" 100° C.	-	0,000240	"
Para wodna przy	100° C.	-	0,000132	"
Wodór przy	0° C.	-	0,000086	"
"	" 100° C.	-	0,000108	"

21. Po zaznajomieniu się z fizycznymi własnościami tych ciał /cieczy doskonałej i gazu doskonałego/, które będziemy badali, przejdziemy do właściwego wykładu. Dla ułatwienia poznania przedmiotu zazwyczaj wykład hydrauliki dzieli się na dwie części. na hydrostatykę i hydrodynamikę.

W HYDROSTATYCE rozważane są płyny /ciecze lub gazy/ w stanie spoczynku bezwzględego lub względnego, zaś

W HYDRODYNAMICE są badane płyny /ciecze i gazy/ w ruchu.