

4. DINAMIKA FLUIDA

Dinamika fluida je dio mehanike fluida koji se bavi silama koje djeluju na fluide, gibanjima koje nastaju djelovanjem tih sila i interakcijama između čvrstih tijela i fluida u gibanju

- Materijalni volumen (fluidno tijelo) je ekvivalentno sustavu materijalnih točaka u mehanici, te zatvorenom termodinamičkom sustavu u termodinamici, pa će svi zakoni mehanike i termodinamike biti direktno primjenjivi i na materijalni volumen.
- U mehanici su definirani Newtonovi zakoni gibanja, od kojih se drugi Newtonov zakon, može zapisati u obliku zakona količine gibanja, zakona momenta količine gibanja ili zakona kinetičke (mehaničke) energije, a u termodinamici su definirani prvi zakon termodinamike (zakon očuvanja energije) i drugi zakon termodinamike. Svi su ti zakoni, kao i zakon očuvanja mase, osnovni za klasičnu fiziku pa tako i za mehaniku fluida.
- U termodinamici se uvodi koncept topline, unutarnje energije i entropije, a radni medij je uglavnom plin, kojemu se djelovanjem sile tlaka može mijenjati volumen. Za smanjivanje volumena plina unutar termodinamičkog sustava (kada se govori o kompresiji), potrebno je ulagati mehanički rad, a pri širenju plina (ekspanziji) plin vrši rad u odnosu na okolinu. U procesima pri konstantnom volumenu korisni mehanički rad jednak je nuli.
- Osim tlačnih sila u sustavu djeluju i sile trenja (u fluidu su to viskozne sile). Budući su sile trenja uvijek suprotne pomaku, njihovim se djelovanjem uvijek mehanička energija pretvara u unutarnju, a nikad obrnuto. Iz rečenog se zaključuje da se u sustavima s konstantnim volumenom ne može povećati mehanička energija na račun unutarnje. Zato se u mehanici krutog tijela (sustava materijalnih točaka, kojima je volumen konstantan) ne razmatraju termodinamički zakoni, odnosno unutarnja energija, jer se iz unutarnje energije ne može dobiti mehanička energija, odnosno ne može se djelovati na gibanje tijela. U mehanici se rad sila trenja, kojim se mehanička energija (zbroj kinetičke i potencijalne energije) pretvara u unutarnju označuje kao gubitak mehaničke energije (jer je jasno da je ta pretvorba jednosmjerna).

4.1 Osnovni zakoni

Dinamika fluida bazirana je na pet osnovnih zakona koji su definirani za materijalni volumen:

1. Zakon očuvanja mase
2. Zakon očuvanja količine gibanja
3. Zakon očuvanja momenta količine gibanja
4. Zakon očuvanja energije
5. Zakon produkcije entropije

4.2 Zakon očuvanja mase

Materijalni volumen se tijekom gibanja sastoji stalno od jednih te istih čestica fluida, što znači da mu je masa konstantna, što se može izraziti riječima: «Brzina promjene mase materijalnog volumena jednaka je nuli» tj. matematički:

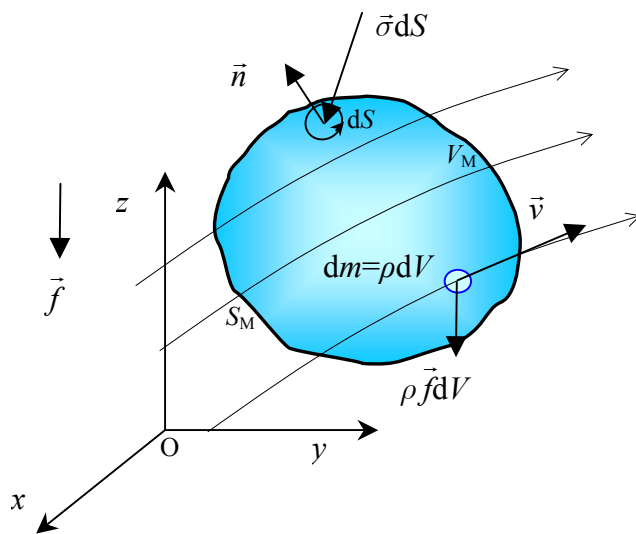
$$\frac{D}{Dt} \int_{V_M} \rho dV = 0$$

4.3 Zakon očuvanja količine gibanja

Definicija zakona očuvanja količine gibanja za materijalni volumen:

Brzina promjene količine gibanja materijalnog volumena jednaka je zbroju vanjskih sila (masenih i površinskih) koje djeluju na materijalni volumen.

Matematički zapis zakona očuvanja količine gibanja za materijalni volumen:



Slika uz definiciju zakona količine gibanja

U strujanju fluida u polju masene sile \vec{f} uočen je materijalni volumen V_M koji je od okolnog fluida odijeljen materijalnom površinom S_M . Na svaku česticu fluida djeluje elementarna masena sila $\rho \vec{f} dV$, a na svaki djelić površine S_M elementarna površinska sila $\vec{\sigma} dS$, pri čemu je vektor naprezanja $\vec{\sigma}$ definiran s pomoću tenzora naprezanja relacijom $\vec{\sigma} = \vec{n} \otimes \sigma_{ji}$. Količina gibanja čestice fluida je $\rho \vec{v} dV$.

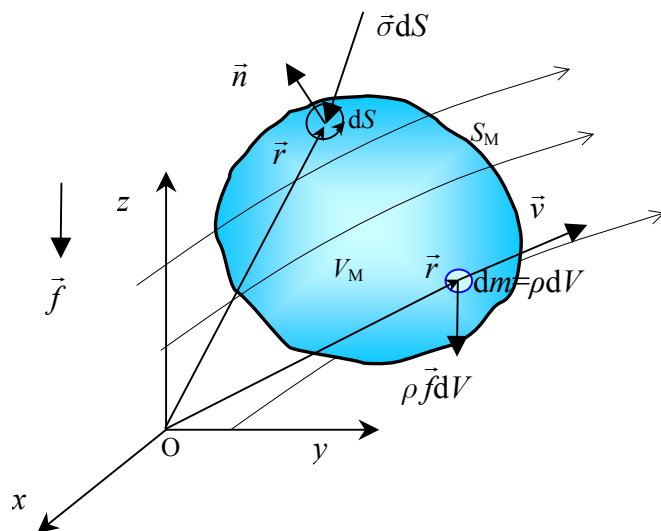
$$\underbrace{\frac{D}{Dt} \int_{V_M} \rho \vec{v} dV}_{\text{Brzina promjene količine gibanja } V_M} = \underbrace{\int_{V_M} \rho \vec{f} dV}_{\text{ukupna masena sila na } V_M} + \underbrace{\int_{S_M} \vec{\sigma} dS}_{\text{ukupna površinska sila na } V_M} = \int_{V_M} \rho \vec{f} dV + \int_{S_M} \vec{n} \otimes \sigma_{ji} dS$$

4.4 Zakon očuvanja momenta količine gibanja

Definicija zakona očuvanja momenta količine gibanja za materijalni volumen:

Brzina promjene momenta količine gibanja materijalnog volumena jednaka je zbroju momenata vanjskih sila (masenih i površinskih) koje djeluju na materijalni volumen¹.

Matematički zapis zakona očuvanja momenta količine gibanja za materijalni volumen:



Slika uz definiciju zakona momenta količine gibanja

U strujanju fluida u polju masene sile \vec{f} uočen je materijalni volumen V_M koji je od okolnog fluida odijeljen materijalnom površinom S_M . Na svaku česticu fluida djeluje elementarna masena sila $\rho \vec{f} dV$. Udaljenost čestice fluida od ishodišta je definirana radijus vektorom \vec{r} , čije su komponente x, y, z , a moment masene sile u odnosu na ishodište koordinatnog sustava je $\vec{r} \times \rho \vec{f} dV$. Na svaki djelić površine S_M djeluje elementarna površinska sila

$\vec{\sigma} dS$, pri čemu je vektor naprezanja $\vec{\sigma}$ definiran s pomoću tenzora naprezanja relacijom $\vec{\sigma} = \vec{n} \otimes \sigma_{ij}$. Moment elementarne površinske sile u odnosu na ishodište je $\vec{r} \times \vec{\sigma} dS$.

Moment količina gibanja čestice fluida je $\vec{r} \times \rho \vec{v} dV$.

$$\underbrace{\frac{D}{Dt} \int_{V_M} \vec{r} \times \rho \vec{v} dV}_{\text{Brzina promjene momenta količine gibanja } V_M} = \underbrace{\int_{V_M} \vec{r} \times \rho \vec{f} dV}_{\text{ukupni moment masenih sila na } V_M} + \underbrace{\int_{S_M} \vec{r} \times \vec{\sigma} dS}_{\text{ukupni moment površinskih sila na } V_M} = \int_{V_M} \vec{r} \times \rho \vec{f} dV + \int_{S_M} \vec{r} \times \vec{n} \otimes \sigma_{ij} dS$$

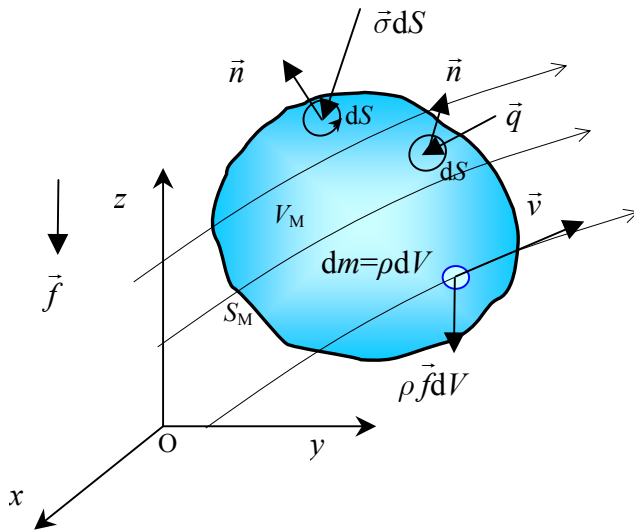
¹ Pretpostavlja se da u fluidu nema momenata raspodijeljenih po materijalnom volumenu ili materijalnoj površini.

4.5 Zakon očuvanja energije

Definicija zakona očuvanja energije za materijalni volumen:

Brzina promjene energije materijalnog volumena jednaka je zbroju snaga vanjskih sila (masenih i površinskih) koje djeluju na materijalni volumen i brzini dovođenja topline.

Matematički zapis zakona očuvanja energije za materijalni volumen:



Slika uz definiciju zakona količine gibanja

U strujanju fluida u polju masene sile \vec{f} uočen je materijalni volumen V_M koji je od okolnog fluida odijeljen materijalnom površinom S_M . Na svaku česticu fluida, kojoj je ukupna energija $\rho e dV$, djeluje elementarna masena sila $\rho \vec{f} dV$, a snaga te sile je $\rho \vec{f} \cdot \vec{v} dV$. Na svaki djelić površine S_M elementarna površinska sila $\vec{\sigma} dS$, a njena snaga je $\vec{\sigma} \cdot \vec{v} dS$, pri čemu je vektor napreznja $\vec{\sigma}$ definiran zbrojem tlačnih i viskoznih sila $\vec{\sigma} = -p\vec{n} + \vec{\sigma}^f$.

Površinske sile koje djeluju po materijalnoj površini su za materijalni volumen vanjske sile (sile dodira između čestica materijalnog volumena i okoline. Ukupna energija $e dV$ čestice fluida definirana je kao zbroj unutrašnje $\rho u dV$ i kinetičke energije $\frac{\rho v^2}{2} dV$ ($e = u + \frac{v^2}{2}$).

Kroz svaki djelić površine S_M prolazi toplinski tok definiran vektorom gustoće toplinskog toka \vec{q} . Matematički zapis zakona je:

$$\underbrace{\frac{D}{Dt} \int_{V_M} \rho e dV}_{\text{Brzina promjene energije } V_M} = \frac{D}{Dt} \int_{V_M} \rho \left(u + \frac{v^2}{2} \right) dV = \underbrace{\int_{V_M} \rho \vec{f} \cdot \vec{v} dV}_{\text{snaga masenih sila na } V_M} + \underbrace{\int_{S_M} \vec{\sigma} \cdot \vec{v} dS}_{\text{snaga vanjskih površinskih sila na } V_M} - \underbrace{\int_{S_M} \vec{q} \cdot \vec{n} dS}_{\text{brzina dovođenja topline na } V_M}$$

4.6 Zakon produkcije entropije

Definicija zakona produkcije entropije (II zakon termodinamike) za materijalni volumen:

Produkcija entropije materijalnog volumena veća je ili jednaka nuli

$$\sigma = \frac{D}{Dt} \int_{V_M} \rho s dV + \int_{S_M} \frac{\vec{q} \cdot \vec{n}}{T} dS \geq 0$$

gdje je σ produkcija entropije, s entropija, a T apsolutna temperatura.