Tøknifrágreiðing

Ástøðilig útgreinan av ávirkan á fortoyaða nót og model skalering

Øystein Patursson og Knud Simonsen

VÓNIN LTD.

FRÓÐSKAPARSETUR FØROYA

NVD*Rit* 2003:08
NÁTTÚRUVÍSINDADEILDIN FRÓÐSKAPARSETUR FØROYA
Faculty of Science and Technology University of the Faroe Islands

Heiti / Title	**Ástøðilig útgreinan av ávirkan fortoyaða nót og model skalering**

Høvundar / Authors	**Øystein Patursson**
	Fishery Laboratory of the Faroes
	Knud Simonsen
	University of the Faroe Islands
	@: knuds@setur.fo

Ritslag / Report Type	Tøknifrágreiðing / *Technical Report*
Latið inn / Submitted	Juni 2003 / June 2003

NVD*Rit*	2003:08

Útgevari / Publisher	Náttúruvísindadeildin, Fróðskaparsetur Føroya
Bústaður / Address	Nóatún 3, FO 100 Tórshavn , Føroyar (Faroe Islands)
Postrúm / P.O. Box	2109, FO 165 Argir, Føroyar (Faroe Islands)
Tlf. · Fax · @	+298 352551 · +298 252551 · nvd@setur.fo

Innihald

Sammandráttur

Í verkætlanini 'Nýggj aliútgerð' verður miða eftir at menna aliútgerð, sum kann tola lutfalsliga harðan streym og høga aldu. Henda frágreiðingin lýsir tann ástøðiliga partin av verkætlanini higartil.

Í frágreiðingini er greitt frá grundleggjandi ástøði, sum hevur við hydrodynamikkin rundan um net í sjónum at gera, kreftir á fortoyðaði net í streymi og skalering av strukturum úr neti, sum eru ávirkaðir av streymi.

Út frá ástøðiliga tilfarinum er ein roknaháttur uppsettur, sum lýsir, hvussu eitt net, sum hongur úr einum floti í erva við einari vekt í neðra, stendur í streymi.

Í frágreiðingini er eisini hugt eftir hvussu roknast kann ímillum útgerð í model stødd og somu útgerð í fullari stødd. Í lesnaðinum eru serliga skaleringar millum ymsar støddir av trolum viðgjørdar. Út frá hesum tilfarinum er eitt skaleringsmodel gjørt, sum er ætlað til at rokna millum aliútgerð í ymsum støddum.

Abstract

The aim with the project 'Nýggj aliútgerð' is to develop fish farming equipment, that can function in strong currents and big waves. This report describes the theortical work done in the project so far.

The theory of hydrodynamics around a net in water, forces on moored nets in current and the scaling of net structures that are under the influence of a current is briefly described.

Based on the theoretical material a model, for calculating the shape of a net in current hung from a float with a weight in the bottom is developed.

Some technics to scale between models and full size equipment have been discussed. The referenced material mostly deals with models for scaling trawls. From this material a scaling model for fish farming cages is developed.

1 Inngangur

Alivinnan í Føroyum hevur ment seg til at verða ein týðandi partur av Føroyska búskapinum. Í dag eru tey flestu økini, sum ikki hava harðan streym ella høga aldu, í brúki, og fleiri teirra hava verði rakt av sjúku seinastu árini. Fyri framhaldandi vøkstur í vinnuni er tí neyðugt at finna tøkni, sum ger tað møguligt at gagnnýta fleiri økir. Í Føroyum merkir hetta, at útgerð má finnast, sum kann tola lutfalsliga harðan streym og høga aldu.

Í verkætlanini 'Nýggj aliútgerð', ið er eitt samstarv millum Vónin Ltd, Fiskirannsóknarstovuna og Náttúruvísindadeildina á Fróðskaparsetur Føroya, og sum er partvíst fíggjað av 'Vinnuframagrunninum' og 'Grunninum fyri sjúkufyribyrgjandi tiltøk', verður miðað eftur at menna slíka útgerð. Henda frágreiðing er ein partur av hesari verkætlan.

Fyri at kunna rokna uppá á tær kreftir, sum virka á eina fortoyaða nót, og at gera eitt veruleikakent model av einum alibrúki, sum kann roynast í einum royndarbrunni, er neyðugt við ástøðiligum kunnleika. Í hesari frágreiðingini verður í kapitul 2 í stuttum greitt frá nøkrum grundleggjandi fyribrigdum innan hydrodynamik og í kapitul 3 verður víst hvørjar kreftir virka á eina fortoyaða nót. Í kapitul 4 verður í stuttum gjøgnumgingið, hvørji atlit skullu takast við, tá eitt model skal gerast, og nakrir hættir verða nevndir. Í kapitul 5 er uppskot til eitt nýtt skaleringsmodel, sum roknar við, at tyngdar- og gníggikreftirnar verða skaleraðar eins, og niðurstøða er gjørd í kapitul 6.

2 Grundleggjandi ástøði

Her verður í stuttum greitt frá nøkrum grundleggjandi fyribrigdum innan hydrodynamik, sum koma fyri, tá roknast skal uppá lutir í sjónum.

2.1 Eindarleysir faktorar

Innan hydrodynamik verða ymisk tøl nýtt, sum lýsa eina givna støðu. Tá arbeitt verður við kreftir eru serliga tvey tøl, sum ofta koma fyri, og eru tey nevnd Reynoldstalið (Re) og Froudtalið (Fr), og harumframt verður Newtontalið (Ne) eisini stundum brúkt. Vanliga verður sagt, at tvær støður eru eins, um hesi tølini eru eins fyri báðar støðurnar.

Nú er tað soleiðis, at øll hesi tølini ikki altíð kunnu verða samanfallandi fyri tvær ymsar støður, t.d. um Re talið er eins fyri tvær støður, so kann Fr-talið ikki verða tað. Undir serligum umstøðum er bert neyðugt at nýta eitt av hesum tølunum, men annars mugu skalerings modellir gerast, sum á besta hátt uppfylla treytirnar fyri at tvær støður, t.v.s. full stødd og model, eru hydrodynamiskt eins. Hesum verður hugt nærri at í kapitlunum 4 og 5.

2.1.1 Reynoldstalið

Eitt hvørt rák kann støddfrøðiliga lýsast sum ein javnvág millum ymsar kreftir. Henda javnvág er:

$$\text{inerti} = \text{trýst broyting} + \text{gnígging}$$

har inerti er flutningurin við rákinum, og gnígging er gníggimótstøðan millum veskuna og fasta lutin, - eisini nevnt viskøsar kreftir.

Reynoldstalið (Re) lýsir lutfallið millum inertikreftirnar og viskøsu kreftirnar. Fyri ein lut, ið hevur støddina L og ferðast við ferðini u í mun til veskuna, ið hevur tættleikan ρ og viskøsitetin μ, eru inertikreftirnar javnstórar við $\rho u^2 L^2$, og tær viskøsu kreftirnar eru javnstórar við $\mu u L$. Re kann tá skrivast soleiðis:

$$Re = \frac{\text{Inertikreftir}}{\text{Viskøsar kreftir}} = \frac{\rho u^2 L^2}{\mu u L} = \frac{\rho u L}{\mu} = \frac{uL}{\nu} \tag{1}$$

har

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{2}$$

nevnist kinematiskur viskositetur.

2.1.2 Froudtalið

Lutfallið millum inertikreftirnar og tyngdarkreftirnar verður lýst við Froudtalinum (Fr). Inertikreftirnar eru, sum fyri Reynoldstalið, javnstórar við $\rho u^2 L^2$, meðan tyngdarkreftirnar eru javnstórar við $\rho\, g\, L^3$, har g er tyngdardikið. Lutfallið millum hesar kreftirnar er:

$$\frac{\text{Inertikreftir}}{\text{Tyngdarkreftir}} = \frac{\rho u^2 L^2}{\rho g L^3} = \frac{u^2}{gL} \tag{3}$$

og Froudtalið verður definerað sum kvadratrótin av hesum lutfallinum og kann skrivast soleiðis:

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gL}} \tag{4}$$

Eitt annað Froudtal, kallað tað generaliseraða Froudtalið (Fr_G), verður eisini nýtt [Fridman, 1986]:

$$Fr_{gF} = \frac{\rho_w u^2}{\gamma_b L}, \text{ har } \gamma_b = \frac{W_w}{V} \tag{5}$$

har V er rúmdin á likaminum, ρ_w er tættleikin hjá veskuni, sum likamið er í, og W_w er vektin á likaminum í veskuni:

$$W_w = g(\rho - \rho_w)V \tag{6}$$

Her skal leggjast til merkis, at Fridman [1986] kallar vanliga Froudtalið $Fr = \frac{u^2}{gL}$. T.v.s. at um sama terminologi skal nýtast sum aðrastaðni í hesari frágreiðingini, so verður generaliseraða Froudtalið:

$$Fr_g = \sqrt{\frac{\rho_w}{\gamma_b L}}\, u. \tag{7}$$

T.v.s. sambandið millum hesi bæði Froudtølini er:

$$Fr_g = \sqrt{\frac{\rho_w}{\frac{W_w}{V} L}}\, u = \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho - \rho_w}} \frac{u}{\sqrt{gL}} = \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho - \rho_w}}\, Fr \tag{8}$$

og hesi Froud-tølini eru eins tá:

$$\rho = 2\rho_w \tag{9}$$

Fridman [1986] sigur víðari, at vanliga Froudtalið er ein serstøða, tá hugt verður at aldugerð tætt við eina fría yvirflatu, har bert verður hugt at tættleikanum (ρ) og specifikku vektini (γ) á veskuni. T.v.s.

$$\gamma = g\rho_w. \tag{10}$$

2.1.3 Newtontalið

Newtontalið (Ne) sigur nakað um kreftirnar, ið virka á ein lut, og verður brúkt til at skalera kreftir við. Frá Fridman [1986] fæst hendan definitiónin uppá Newtontalið fyri lutir úr neti t.d. fiskireiðskap sum trol o.a.:

$$Ne = \frac{F\,m}{\rho\, v^2 L^2 d} \tag{11}$$

har m er meskastødd, F er kraft, d er tráðdiametur, v er ferð á vatni í mun til netið, og L er ein karakteristisk stødd t.d. longd á høvuðlínu á troli.

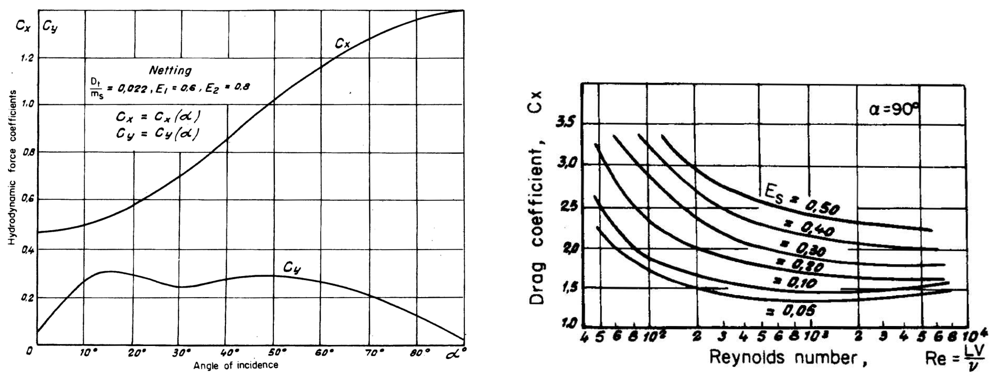
Seinni (formil 29 og 30) verður víst, at fyri vanligar lutir hevur Ne sama form sum dragtalið (sí kapittul 2.7).

2.2 Hydrodynamiskt drag

Tá ein lutur ferðast gjøgnum eina vesku, ella ein veska ferðast framvið einum luti, verður luturin ávirkaður av einari kraft í streymrætningin. Hendan kraftin nevnist drag og hevur støddina:

$$D = \frac{1}{2}\rho\, c_D\, u^2 A \tag{12}$$

har ρ er tættleikin á veskuni, c_D er dragtalið hjá lutinum, u er ferðin hjá lutinum í mun til veskuna, og A er arealið, sum dragið verður roknað út eftir. Hetta arealið er sum oftast tað projiseraða arealið á lutinum í mun til streymrætningin, t.v.s. arealið, sum luturin hevur, tá hugt verður eftir honum í sama rætning, sum veskan kemur móti lutinum.



Mynd 1: Á myndini til vinstru síggjast c_D (c_x á myndini) og c_L (c_y á myndini) sum funktión av vinkli (α) í mun til streymin fyri eitt net við $Sn \simeq 0.046$ (sí kapittul 2.4). Legg til merkis at vinkulin her er $0°$, tá netið stendur javnfjart við streymin, og $90°$, tá netið stendur vinkulrætt á streymin, í mun til at tað er øvugt í formlunum hjá Løland [1991] (formil 26 og 27). Á myndini til høgru sæst c_D sum funktión av Re fyri ymisk Sn (E_s á myndini) har vinkulin millum net og streymrætning er $90°$. Myndirnar eru frá Fridman [1986].

c_D er ein eginleiki hjá lutinum og er tengt at skapinum. Tað verður vanliga funnið eksperimentelt, har dragið á lutin verður mált fyri ymiskar ferðir. Dragtalið verður so funnið soleiðis:

$$c_D = \frac{2D}{\rho u^2 A}. \tag{13}$$

Dragtalið varierar við Reynoldstali fyri flestallar lutir. T.v.s.

$$c_D = c_D(Re) \tag{14}$$

Um Re er nóg stórt, kann roknast við at c_D er konstant, men tá Re verður nóg lítið, veksur c_D. Eitt dømi er víst á mynd 1. Tá arbeitt verður við lutfalsliga smáum støddum, t.d. við modellum, so verður Re læ ttliga so mikið lítið, at c_D ikki longur er konstant.

2.3 Hydrodynamiskt lyft

Um luturin ikki er symmetriskur um streymrætningin, kann ein lyftikraft ávirka lutin, og luturin hevur hug at flyta seg uppá tvørs av streymrætninginum. Tað er lyftikraftin, sum t.d. ávirkar veingirnar á einum flogfari, og gevur neyðugu kraftina uppeftir, so leingi tað er á flogi. Tað er helst haðani navnið stavar.

Lyftið verður roknað út eins og drag:

$$L = \frac{1}{2}\rho\, c_L\, u^2 A \tag{15}$$

men við einum lyfttali (c_L) ístaðin fyri c_D. c_L broytist eins og c_D við Re.

2.4 Lutfall millum bandareal og net areal

Fyri at kunna samanlíkna net við ymsari meskastødd og tráðtjúkt er neyðugt við einum eginleika, sum sigur nakað um, hvussu netini uppføra seg í sjónum. Ein eginleiki, sum lýsir hetta væl, er lutfallið millum bandareal (A_t)(twine area) og netareal (A):

$$Sn = \frac{A_t}{A} \tag{16}$$

Bandareal kann finnast soleiðis:

$$A_t = d\,l \tag{17}$$

har d er diameturin á bandinum, og l er samlaða longdin av bandi í netinum. Sn kann eisini roknast út fyri ein meska:

$$Sn = \frac{2\,d\,m}{m^2} = \frac{2\,d}{m} \tag{18}$$

har m er meskastødd (hálvur meski). Her verður gingið út frá, at meskin stendur heilt opin, og tað er ikki tikin hædd fyri bandinum, sum er í knútinum. Ymiskir hættir eru at taka hædd fyri bandinum í knútinum, t.d. hevur Løland [1991] hesa korrektiónina fyri at taka hædd fyri knútinum:

$$Sn = \frac{2\,d}{m} + \frac{1}{2}\left(\frac{d}{m}\right)^2, \tag{19}$$

men her er valt at síggja burtur frá hesum.

2.5 Drag og lyft hjá einum neti

Um bert verður hugt eftur einum tráði, er arealið í útrokningum bandarralið A_t (formil 17).

Dragið (formil 12) verður so roknað soleiðis:

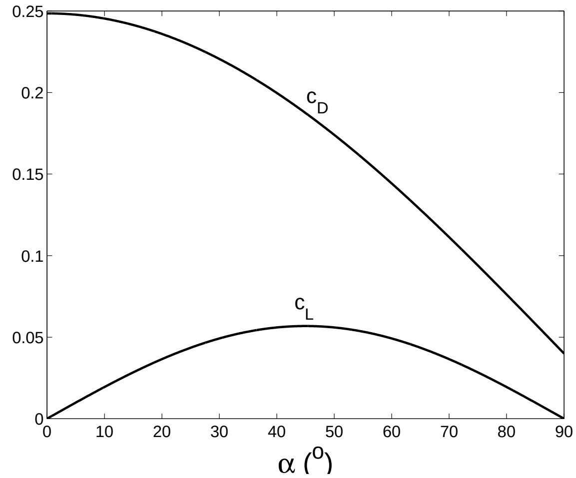
$$D = \frac{1}{2}\rho\, c_D\, u^2 A_t \tag{20}$$

og dragtalið (formil 13) soleiðis:

$$c_D = \frac{2D}{\rho\, u^2 A_t} \tag{21}$$

Tað sama er galdandi fyri lyft (formil 15), sum verður roknað soleiðis:

$$L = \frac{1}{2}\rho\, c_L\, u^2 A_t \tag{22}$$



Mynd 2: c_D og c_L hjá Løland [1991] sum funktión av vinklinum í mun til streymin fyri eina alinót við meskastødd 28 mm ($\frac{1}{2}$ meskur) og tráðtjúkt 2.5 mm.

og lyfttalið:

$$c_L = \frac{2L}{\rho\, u^2 A_t} \tag{23}$$

Tá fingist verður við eitt heilt net, verður lutfallið millum net areal og band areal, S_n (formil 18) nýtt. Drag og lyfttølini broytast í mun til skap og areal av netinum, sum vendir ímóti streymrætningin, t.v.s. at vinkulin, α, millum netið og streymrætningin eisini hevur týdning.

Tá roknað verður fyri eitt net, verða drag og lyfttølini ávikavist (sí mynd 1)

$$c_D = f(Re, Sn, \alpha) \tag{24}$$

og

$$c_L = g(Re, Sn, \alpha) \tag{25}$$

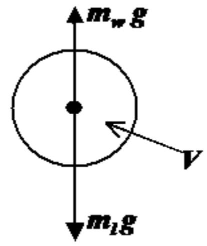
α verður vanliga defineraður sum vinkulin millum normalvektorin á netið og streymrætningin. Tvs. at vinkulin er 0°, tá netið stendur vinkulrætt á streymin og 90°, tá netið stendur parallelt við streymin.

2.6 c_D og c_L sum funktión av vinkli í mun til streymin

Løland [1991] hevur funnið fram til hesar líkningar til at lýsa c_D og c_L sum funktión av vinkli (α) í mun til streymin (sí mynd 2).

$$c_D = 0.04 + (-0.04 + 0.33Sn' + 6.54Sn'^2 - 4.88Sn'^3)cos(\alpha) \tag{26}$$

$$c_L = (-0.05Sn' + 2.3Sn'^2 - 1.76Sn'^3)sin(2\alpha) \tag{27}$$



Mynd 3: Kreftir á ein lut í einari vesku, tá skipanin er í friði.

har α er vinkulin millum normalvektorin á netið og streymrætningin. T.v.s. at α er 0, tá netið stendur vinkulrætt á streymin, og 90°, tá netið stendur eftir streymrætninginum.

$$Sn' = \frac{2d}{m} + \frac{1}{2}\left(\frac{D}{m}\right)^2 . \tag{28}$$

Tó skal viðmerkjast, at c_D og c_L her eru funnin út frá arealinum á netinum (A í formil 16) og ikki út frá bandarealinum (A_t í formil 16), sum vanligt er. T.v.s. c_D og c_L eru rokanði út frá formil 13 ístaðin fyri formil 21.

Líkningarnar eru gjørdar út frá mátingum á net til aling, t.v.s. net við meskastødd uml. 15–25 mm ($\frac{1}{2}$ meskur) og tráðtjúkt uml. 1.5–2.5 mm, og eftirsum líkningarnar ikki taka hædd fyri Reynoldstalinum, kann gangast út frá at tær bert eru galdandi fyri slík net.

2.7 Newtontalið

Um hugt verður at formil 21, kombineraður við formil 16 og 18 og $A_t = Sn\,L^2 = \frac{2d}{m}L^2$ sett inn, fæst:

$$c_D = \frac{D\,m}{\rho\,u^2 L^2 d} \tag{29}$$

og tað sama fæst fyri c_L. Út frá hesum kann konkluderast, at fyri vanligar lutir eigur Newtontalið at hava sama form sum dragtalið. T.v.s.

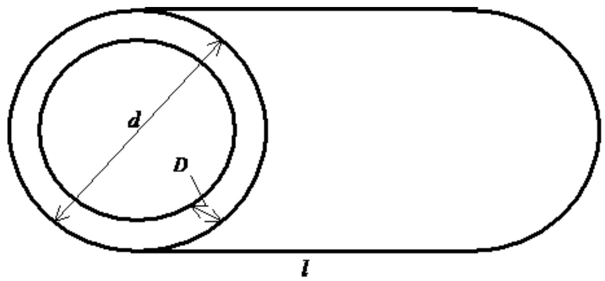
$$Ne = \frac{2F}{\rho u^2 A} \tag{30}$$

Tí er skalering við konstantum Newtontalið tað sama sum skalering við konstantum dragtalið.

2.8 Uppdrift

Uppdrift (B)(bouyancy) á ein lut er munurin millum vektina á lutinum og vektina á veskuni, sum luturin fortreingir (sí mynd 3)

$$B = m_w - m_l = \rho_w V_w - \rho_l V_l, \tag{31}$$



Mynd 4: Rør við diametur, d, góðstjúkt, D og longd, l.

har w stendur fyri vesku og l stendur fyri lutur. Um roknað verður í kraft:

$$B = g(\rho_w V_w - \rho_l V_l) \tag{32}$$

har g er tyngdardikið.

2.8.1 Uppdrift á rør

Í alivinnuni eru slangur/rør vanliga nýtt til uppdrift. Uppdrift (B) á rør kann roknast soleiðis:

$$B = \pi g d(\frac{1}{4}\rho_w d - D\rho_r)l \tag{33}$$

har d er diameturin, l er longdin, D góðstjúktin (sí mynd 4), ρ_r er tættleikin á rørinum og ρ_w er tættleikin á veskuni, sum rørið er í. Her er roknað við at $D \ll d$.

Um vekt pr. longd á rørinum (σ_r) er kent, so kann uppdriftin skrivast:

$$B = lg(\frac{\pi}{4}\rho_w d^2 - \sigma_r) \tag{34}$$

Um diameturin á einum røri við einari vissari uppdrift skal finnast, so kann líkning 33 loysast fyri diameturin, d, soleiðis:

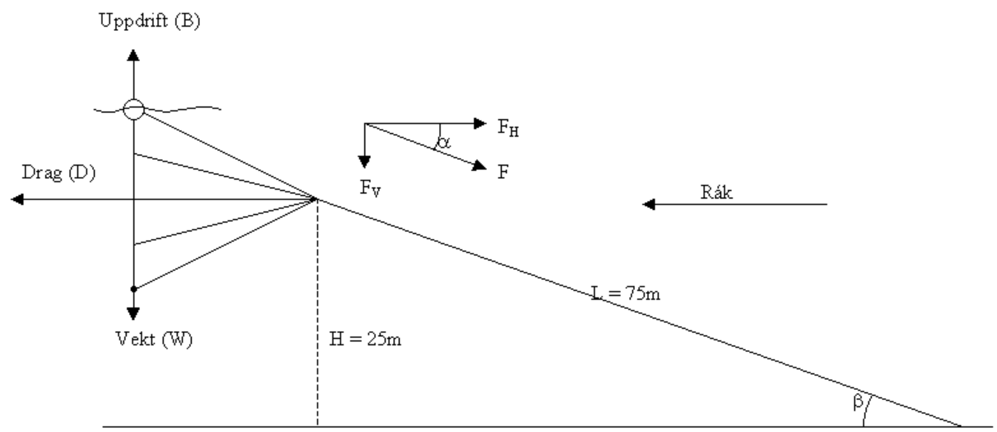
$$d = \frac{\pi g l D\rho_r \pm \sqrt{(\pi g l D^2\rho_r^2 + \rho_w B)\pi g l}}{\frac{1}{2}\pi g l \rho_w} \tag{35}$$

Líkningin gevur tvær loysnir, men bert onnur kann brúkast. Vanliga sæst tað á loysnunum, hvør er tann rætta.

Líkning 34 kann loysast fyri diameturin, d, soleiðis:

$$d = \sqrt{\frac{B + \sigma_r l g}{\frac{\pi}{4} l \rho_w g}} \tag{36}$$

Í líkningunum omanfyri er hædd tikin fyri góðsinum í rørinum, men ikki fyri endunum á rørinum. Um longdin á rørinum er stór í mun til diameturin, so hevur hetta tó ikki so nógv at siga.



Mynd 5: Kreftir á eina streymforðing, sum er fest við 5 streingjaðum hanafóti, sum ganga í ein knút og síðani í fortoyning

3 Kreftir á fortoya net

3.1 Kreftir á Streymforðing

Kreftirnar á eina nót, sum er fortoya í einum rákið, eru frá dragnum, sum rákið virkar á nótina, frá fortoynings endunum, frá vektini, og frá uppdriftini, sum mynd 5 vísir. Um nótin ikki stendur vinkulrætt á rákið, er eisini ein onnur kraft á hana, lyftið, sum virkar vinkulrætt á streymrætningin.

Um talan er um ein aliring, so er eisini ein ávirkan frá síðunum, sum ikki eru uppá tvørs av rákinum. Uppsetingin, sum her er nýtt, er fyri eina streymforðing, ella eina síðu í einum fýrasíðaðum alibúri.

Um fortoyningarnar eru heilt strektar, so eru vinklarnir millum fortoyningina og vatnrætt (θ og ϕ) givnir við:

$$\theta = \phi = \arcsin \frac{H}{L} \tag{37}$$

har H er dýpið, og L er longdin á fortoyningini. Vanliga kann ikki roknast við at fortoyningin er heilt strekt, og tískil eru vinklarnir millum vatnrætt og fortoyningina í erva (θ) og í neðra (ϕ) sjáldan eins.

Tær vatnrøttu kreftirnar, F_H, sum virka á nótina, stava frá rákinum, og eru dragið og møguliga lyftið, sum kunnu roknast sum lýst í kapitul 2. Sambandið millum F_H og kraftina, F, sum fortoyingin skal halda til, er tengt at vinklinum, θ:

$$F = \frac{F_H}{\cos\theta} \tag{38}$$

Fortoyningin togar skrátt niður eftir, og tann loddrætta kraftin, F_V, sum uppdriftin má uppviga, kann eisini roknast út frá F_H við:

$$F_V = F\sin\theta = F_H\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = F_H\tan\theta \tag{39}$$

Samlaða uppdriftin, F_U, sum er neyðug er loddrætta kraftin frá rákinum og vekt (W) av útgerðini, t.v.s.:

$$F_U = F_V + W \tag{40}$$

Á mynd 5 er longdin á fortoyningini sett til tríggjar ferðir dýpi frá knútinum. Um fortøjningin er heilt strekt, so verður vinkulin millum vatnrætt og fortoyningina:

$$\theta = \arcsin\frac{H}{L} = 19,5^\circ \tag{41}$$

og loddrætta kraftin:

$$F_V = F_H\tan\theta = 0.35F_H \tag{42}$$

Um fortoyningin ikki er heilt strekt, ella um hallið á fortoyningini er brattari enn 1:3, so má roknast við einum størri vinkli, og harvið verður F_V eisini størri. T.d. um vinkulin θ er um 25° so verður:

$$F_V = 0.5F_H \tag{43}$$

Dømir uppá kreftir á streymforðing kunnu síggjast á mynd 6, har kreftir eru roknaðar út fyri streymforðing 45° í mun til streymin og 90° í mun til streymin fyri tvey ymisk net, alinet og eitt tættari net, sum t.d. verður brúkt til posa í svartkjaftatroli.

Um hugsað verður at ein streymforðing skal verja eitt alibrúk við einari ávísari breidd, verður streymforðingin stytst, um hon stendur vinkulrætt á streymin (mynd 7), og longur, um hon hevur aðrar vinklar í mun til streymin (mynd 8).

Longdin (l) á streymforðingini verður:

$$l = \frac{l'}{\cos\alpha} \tag{44}$$

har l' er longdin á streymforðingini, tá hon stendur vinkulrætt á streymin, og α er vinkulin í mun til streymin. α er 0, tá streymforðingin stendur vinkulrætt á streymin. Um hæddin á streymforðingini er h, kann líknandi setast upp fyri arealið (A) á streymforðingini:

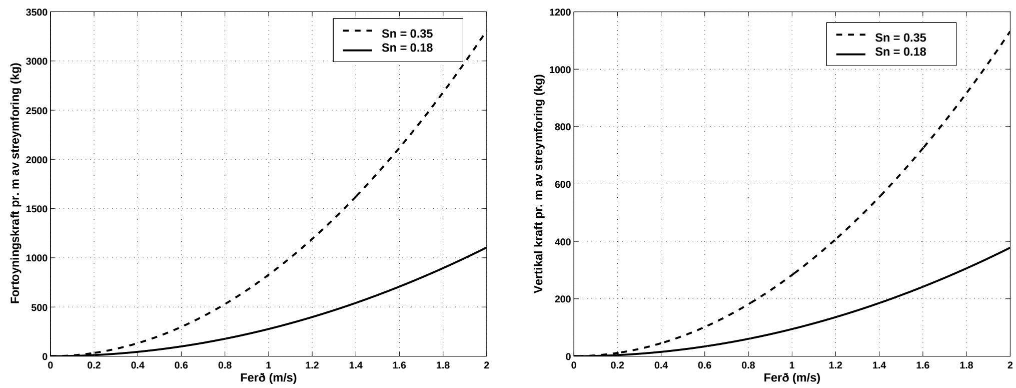
$$A = lh = \frac{l'h}{\cos\alpha} = \frac{A'}{\cos\alpha}. \tag{45}$$

Samlaða kraftin (F) frá streyminum á eitt netastykki, tá tað ikki stendur vinkulrætt á streymin, er samlaða kraftin frá dragkraftini (D) og lyftkraftini (L) (sí mynd 9), og verður hon roknað soleiðis:

$$F = \frac{1}{2}\rho\sqrt{c_D^2(\alpha) + c_L^2(\alpha)}\,A\,u^2 \tag{46}$$

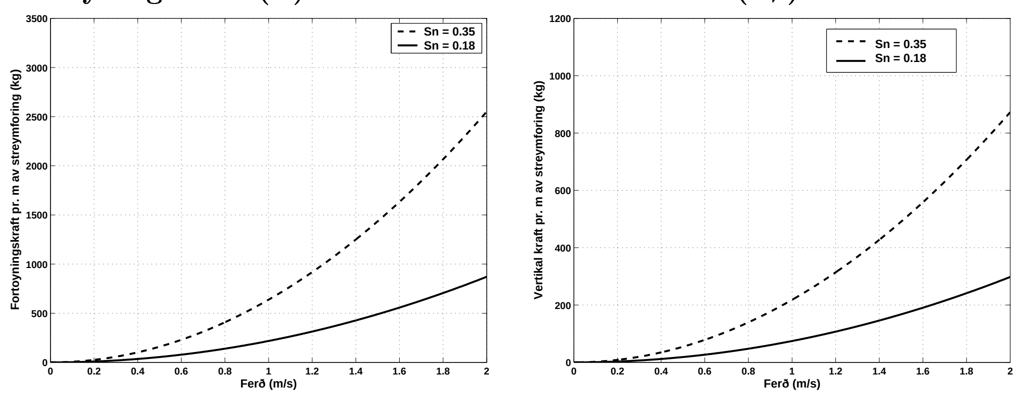
Streymforðing vinkulrætt á streymrætningin

Fortoyningskraft (F) **Vertikal kraft (F_V)**

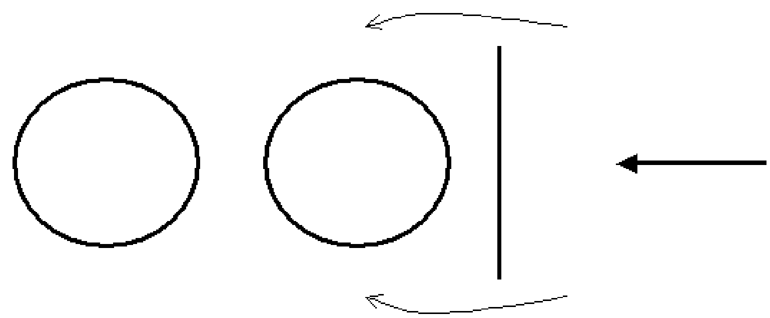


Streymforðing 45° í mun til streymrætningin

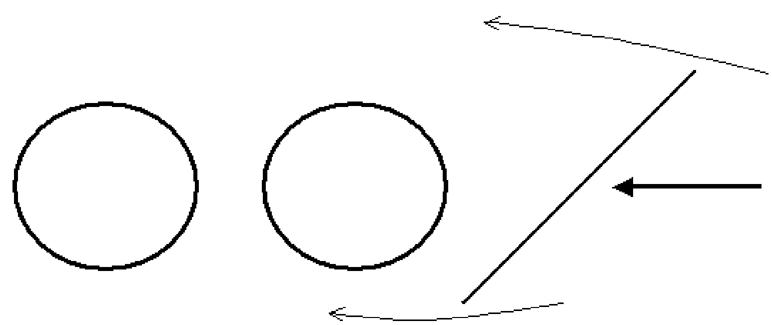
Fortoyningskraft (F) **Vertikal kraft (F_V)**



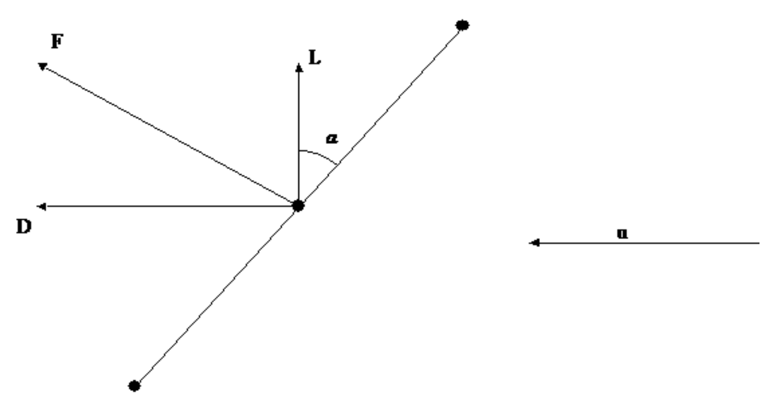
Mynd 6: Kreftir á hvønn longdarmetur av eini streymforðing (20 m djúp og fortoyningsvinkul 1:3) í mun til rákið. Útrokningarnar eru gjørdar fyri tvey ymisk net og fyri tveir ymsar vinklar í mun til streymrætningin (90° myndirnar í erva, 45° myndirnar í neðra). Myndirnar vinstru megin avmynda fortoyningskraft (F á mynd 5) og myndirnar høgru megin loddrøttu kraftina, sum er orsakað av fortoyningskraftini (F_V á mynd 5). Tann heila linjan er fyri eina alinót við meskastødd 28 mm ($\frac{1}{2}$ meskur) og tráðtjúkt 2.5 mm, meðan tann brotna linjan er fyri eina tættari nót, t.d. ein svartkjaftaposa við meskastødd 30 mm ($\frac{1}{2}$ meskur) og tráðtjúkt 2 ferðir 2.6 mm. Allar kreftir eru í kg.



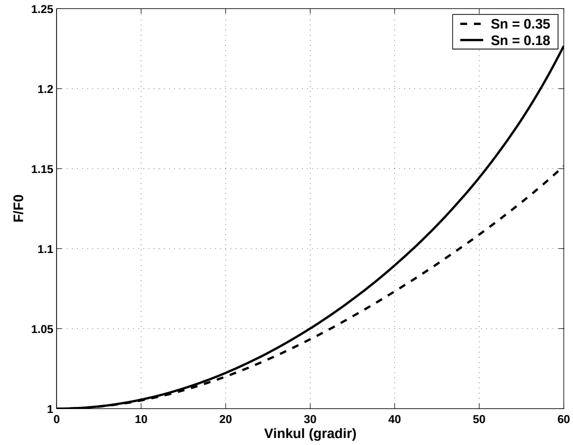
Mynd 7: Streymforðing vinkulrætt á streymin sæð úr erva.



Mynd 8: Streymforðing 45° í mun til streymin sæð úr erva.



Mynd 9: Drag (D), lyft (L) og samlaða kraftin (F) frá draginum og lyftinum á eitt netastykki.



Mynd 10: Kraft á streymforðing við ymsum vinklum í mun til streymin í mun til kraftina, tá hon stendur vinkulrætt á streymin (F0). Hugsað er, at streymforðingin verjir eina ávísa breidd vinkulrætt á streymin, og longdin á streymforðingini økist sostatt, tá forðingin ikki er vinkulrætt á streymin. 0° er vinkulrætt á streymin. Tann heila linjan er fyri eina alinót við meskastødd 28 mm ($\frac{1}{2}$ meskur) og tráðtjúkt 2.5 mm, meðan tann brotna linjan er fyri eina tættari nót, t.d. ein svartkjaftaposa við meskastødd 30 mm ($\frac{1}{2}$ meskur) og tráðtjúkt 2 ferðir 2.6 mm.

Tá netastykkið stendur vinkulrætt á streymin verður samlaða kraftin

$$F = D, \tag{47}$$

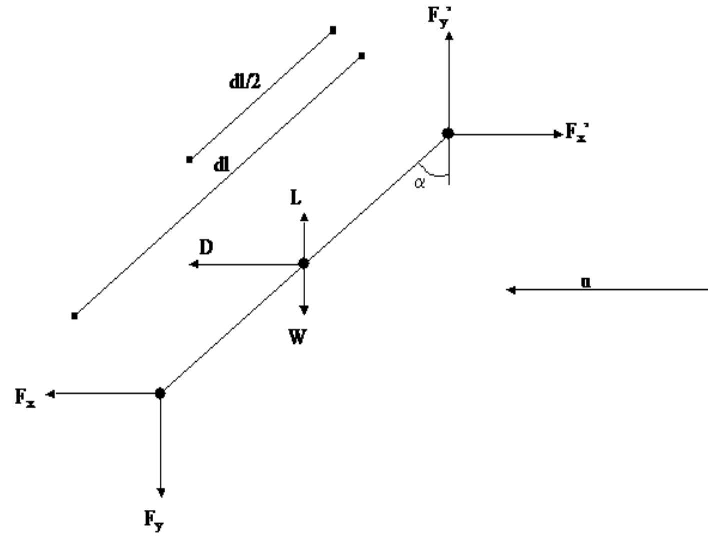
tí tá er eingin lyftkraft. T.v.s. at forholdið millum kraftina (F) á eina streymforðing, tá hon stendur á skák í mun til streymin, og kraftina ($F0$), tá streymforðingin stendur vinkulrætt á streymin er hetta:

$$\frac{F}{F0} = \frac{\frac{1}{2}\rho\sqrt{c_D^2(\alpha) + c_L^2(\alpha)}\,\frac{A'}{\cos\alpha}u^2}{\frac{1}{2}\rho c_D(\alpha = 0)\,A'u^2} = \frac{\sqrt{c_D^2(\alpha) + c_L^2(\alpha)}}{c_D(\alpha = 0)\cos\alpha} \tag{48}$$

Við at nýta drag- og lyfttølini hjá Løland [1991] (kapittul 2.6), kann hetta roknast út fyri ymisk net, Á mynd 10 er hetta gjørt fyri eina alinót og eitt net, sum verður brúkt til posa í svartkjaftatroli.

3.2 Hvussu stendur nótin?

Um hugt verður at einum netastykki, sum er ávirkað av streymi, kunnu kreftirnar á tað setast upp sum á mynd 11. D er drag, L er lyft, W er tyngdin á netinum í sjónum (t.e. munurin millum tyngdikraftina og uppdriftina á netið), F_x og F_y eru ávíkavist x- og y-komposanturin av spenninum í netinum. Í hesum førinum er roknað við at stykkið er stívt og ikki kann deformerast. Við at býta eitt netastykki sundur í nógv



Mynd 11: Kreftir á netastykki í rákið

smærri stykki, verður skeivleikin í útrokningunum, sum stendst av, at netastykkið er stívt, minkaður.

Um hugt verður at einum netastykki, sum hongur niður í sjógvin við flotið í erva og við søkki í neðra, kann eitt roknistykki setast upp fyri, hvussu tað stendur í sjónum [Løland, 1991]. Her verður roknað við, at netið er beint í vatnrættan rætning og bert boygnar í loddrættan rætning, og tí verður bert roknað í loddrættan rætning.

Stabilitetskrav er:

$$\sum \tau = 0 \text{ og } \sum \vec{F} = \vec{0} \tag{49}$$

har τ er kraftmoment roknað um eitt ávíst punkt, og $\vec{F}$ eru kreftirnar á netið.

Kraftmomentið um ovara endan á netastykkinum á mynd 11 er hetta:

$$(\frac{D}{2} + F_x) dl cos\alpha + (\frac{L-W}{2} - F_y) dl sin\alpha = 0 \tag{50}$$

Hetta viðførir:

$$\alpha = arctan(-\frac{\frac{D}{2} + F_x}{\frac{L-W}{2} - F_y}) \tag{51}$$

F_x og F_y fyri tað niðasta netastykkið eru ávíkavist drag og vekt á loddinum. α kann síðani roknast út fyri netastykkini uppeftir við at:

$$F'_x = F_x + D \tag{52}$$

$$F'_y = F_y + W - L \tag{53}$$

Út frá longdini á netastykkjunum og α kann formurin á netastykkinum finnast.

Fyri at kunna gera hesar útrokningar er neyðugt at kenna c_D og c_L fyri netið sum funktión av α og møguliga Re. Frægasta úttrykkið fyri c_D og c_L er tað hjá Løland [1991], sum sæst í kapittul 2.6 (formil 26 og 27).

4 Hvussu kann skalerast?

Tá eitt model skal gerast, og mátingar av ferð og kreftum á modellinum skulu yvirførast til fulla støðd, so er neyðugt at gera eitt støddfrøðiligt skaleringsmodel. Orsøkin er, at sjálvt um allar geometriskar støddir eru minkaðar við einum faktori, λ, so er tilsvarandi broyting ikki hend við tættleika og viskositeti hjá vatninum, og tyngdardikið, g, er tann sama fyri model og fulla støðd.

Um sonevndur hydrodynamiskur similaritetur skal verða galdandi millum model og fulla støðd, so er ein meginregla, at Reynolds talið skal verða eins. Í kapitul 2.2 var greitt frá hvussu m.a. dragið broytist við Re-talinum. Um loddrættar kreftir gera seg galdandi, so er ein onnur meginregla, at Froud-tølini skulu verða eins. At uppfylla hesar báðar meginreglurnar í senn er ikki møguligt um royndirnar skulu gerast í vatni, og tí eru ymisk skaleringsmodel framleidd, sum taka hædd fyri ymsum fyritreytum. Niðanfyri er stutt greitt frá nøkrum skaleringsmodellum, sum í høvuðsheitum eru gjørd til at niðurskalera trol til model støðd.

4.1 Skaleringsmodellið hjá Fridman [1986]

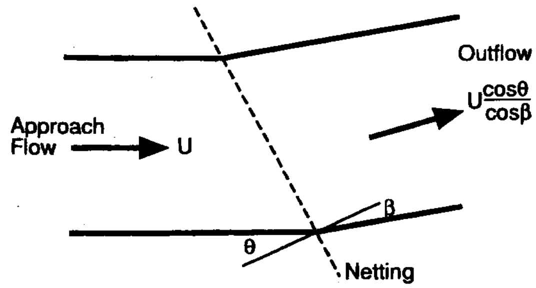
Fridman [1986] brúkti fylgjandi fyritreytir til sítt skaleringsmodell:

- Geometriin skal vera rætt skalerað.
- Tættheitin, Sn, skal vera eins fyri model og fullan skala. T.v.s. at lutfallið millum band areal og totalt areal skal verða eins fyri model og fulla støðd.
- Sama skalering fyri allar kreftir. Her verður Newton talið brúkt.
- Um gravitatiónskreftir hava ávirkan, skal Froudtalið vera eins fyri model og fullan skala.
- Endaeffektir, avstandur til vatnyvirflatu, havbotnur, o.l., skulu skalerast rætt.

4.1.1 Kreftir

Til at skalera kreftir við mælir Fridman [1986] til at nýta Newtontalið. Newtontalið skal vera eins fyri model og fullan skala. Út frá hesum kann skaleringstreytin setast upp:

$$\frac{S_F\,S_m}{S_\rho S_v^2 S_L^2 S_d} = \frac{Ne_{model}}{Ne_{fullskala}} = 1 \tag{54}$$



Mynd 12: Streymur gjøgnum eina nót, sum er spent á skák tvørturum streymin (Myndin er frá O'Neill [1993]).

har S_x merkir lutfallið millum model og fulla stødd fyri parameturin x, t.d. lutfallið millum longdina L í model og fullari stødd er skrivað:

$$S_L = \frac{L_{model}}{L_{fullskala}} \tag{55}$$

Flyta vit eitt sindur uppá líkningina, so verður lutfallið millum kreftirnar givið við:

$$S_F = \frac{S_\rho S_v^2 S_L^2 S_d}{S_m} \tag{56}$$

4.1.2 Gravitatións kreftir

Fridman [1986] mælir til at nýta generaliseraða Froudtalið, Fr_G, sum er givið við formil 5.

Fr_G eigur at verða eins fyri model og fulla stødd, og hevur hettar við sær at lutfallið millum ferðirnar verður:

$$S_v = \sqrt{\frac{S_\gamma S_d}{S_\rho}} \tag{57}$$

4.2 Skaleringsmodellið hjá O'Neill [1993]

O'Neill [1993] gevur hesar líkningar fyri lift og drag í einum systemi við eini nót, sum er spent á skák tvørturum streymin (Sí mynd 12):

$$c_L = k_\theta sin\theta - 2cos^3\theta(tan\theta - tan\beta) \tag{58}$$

$$c_D = k_\theta cos\theta - 2cos^2\theta sin\theta(tan\theta - tan\beta) \tag{59}$$

Hesar líkningar eru grundaðar á band yvirflatu (Twine surface, πdl). Fyrra liðið í báðum líkningunum umboðar trýstfallið, sum stendst av rúmøkingini, sum kemur, tá vatnið fer ígjøgnum meskarnar og virkar vinkulrætt á nótina. Seinna liðið umboðar gníggingina, sum virkar parallelt við nótina.

Sambært O'Neill [1993] fæst geometriskur similaritetur um balansan millum vatnrættar og loddrættar kreftir (bodyforces) verður varðveitt. Tær loddrøttu kreftirnar eru vekt, uppdrift, og lyfti-kreftir, meðan tað bert er drag-kraftin, sum virkar í vatnrættan rætning. Eitt netapetti gjørt úr bandi við longd l og diametur d hevur eina rúmd, sum er proportional við

$$\frac{\pi l d^2}{4} \tag{60}$$

og eitt yvirflatuareal, sum er proportionalt við

$$\pi l d \tag{61}$$

Tær samlaðu gravitatiónskreftirnar kunnu skrivast soleiðis:

$$F_g = \frac{(\rho - \rho_t)\pi l d^2 g}{4}. \tag{62}$$

Lyfti og drag kreftirnar ávíkavist

$$F_L = 0.5 \rho c_L u^2 \pi l d \tag{63}$$

og

$$F_D = 0.5 \rho c_D u^2 \pi l d \tag{64}$$

Út frá hesum kann forholdið millum loddrættar og vatnrættar kreftir sigast at vera proportionalt við

$$\frac{F_g + F_L}{F_D} = \frac{(\rho - \rho_t) d g}{2 \rho c_D u^2} + \frac{c_L}{c_D} \tag{65}$$

T.v.s. at um densiteturin á veskuni og á nótini er tann sami fyri model og fulla støðd, og um lyft og drag tølini eru konstant, so er lutfallið millum loddrættar og vatnrættar kreftir javnstórt við

$$\frac{u^2}{gd} = Fr^2, \tag{66}$$

sum er kvadratið av Froudtalinum (Fr) grundað á bandtjúktina.

O'Neill [1993] mælir til at gera trolmodellir skaleraði eftir Froudtalinum (Fr), sum í hesum førinum er grundað á bandtjúkt (d), og einum av trimum Reynoldstølum (Re_L, Re_v, Re_d). Tvs. at Fr og eitt av teimum trimum Re skulu verða eins fyri trolið í fullari støðd og modellið. Tølini verða roknaði soleiðis:

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gd}} \tag{67}$$

$$Re_L = \frac{uL}{\nu} \tag{68}$$

$$Re_v = \frac{ud^2}{\nu L} \tag{69}$$

$$Re_d = \frac{ud}{\nu} \tag{70}$$

Re_d er Reynoldstal grundað á tráðtjúktina (d) og beskrivar tí dynamikkin í økinum heilt tætt við meskarnar, meðan Re_L hinvegin er grundað á støddina á sjálvum trolinum (L) og beskrivar tí stórskala dynamikkin rundan um sjálvt trolið. Re_v er eitt tal sum sambært O'Neill [1993] beskrivar dynamikkin millum Re_d og Re_L.

Fyri at hava vissu fyri, at tættleikin og yvirflatuarealið á bandinum í mun til arealið á trolinum verða eins fyri bæði modellið og trolið í fullari stødd, verður meskastøddin skalerað við sama faktori, sum bandtjúktin í trolinum.

4.2.1 Reynoldstal grundað á bandtjúkt (Regime 1)

Um kravið um at bæði Re_d og Fr skulu haldast konstant í modellinum og fullari stødd, uttan at broyta viskositet og densitet á vatninum, so mugu hesar treytir verða uppfyltar:

- $u_F = u_M$
- $d_F = d_M$

har F stendur fyri fulla stødd, og M stendur fyri modelstødd.

Hetta letur seg gera fyri model við skaleringsfaktori, sum liggur ímillum uml. 1 og 1/3. Um modellið verður minni enn hetta, koma trupulleikar av m.a. stívheitini í bandinum.

Við hesum skaleringsmodellinum broytast Re_L og Re_v við ávíkavist einum faktori λ og $1/\lambda$. Hetta fæst við at seta inn í ávíkavist líkning 68 og líkning 69.

4.2.2 Reynoldstal grundað á stødd millum bandtjúkt og trolstødd (Regime 2)

Um skaleringin verður gjørd við at halda Re_v og Fr konstant, fæst at hesar treytir skulu verða uppfyltar:

- $L_M = \lambda L_F$

Full stødd	Regime 1	Regime 2
L	λ L	λ L
U	U	$\lambda^{1/5}U$
d	d	$\lambda^{2/5}U$
m	m	$\lambda^{2/5}m$
ϕ	ϕ	ϕ
F	F	F
R_d	R_d	$\lambda^{3/5}R_d$
R_v	$\frac{1}{\lambda}R_v$	R_v
R_L	λR_L	$\lambda^{6/5}R_L$

Talva 1: Talva sum vísir skaleringina fyri ymsu støddirnar í báðum modellunum

- $u_M = \lambda^{1/5}u_F$
- $d_M = \lambda^{2/5}d_F$

Hetta skaleringsmodellið hevur við sær, at hini bæði Reynoldstølini broytast soleiðis:

$$Re_{dM} = \lambda^{3/5}Re_{dF} \tag{71}$$

$$Re_{LM} = \lambda^{6/5}Re_{LF} \tag{72}$$

4.2.3 Reynoldstal grundað á trolstødd

Um skaleringin verður gjørd við at halda Re_L og Fr konstant fæst at:

$$u_M = u_F/\lambda \tag{73}$$

$$d_M = d_F/\lambda^2 \tag{74}$$

Hetta hevur við sær, at bæði ferð og tráðtjúkt skulu verða munandi størri í modellinum enn í fullari stødd, t.d. um modellið er 1:20, so má modelferðin verða 20 ferðir størri enn ferðin við fullari stødd, og tískil kann hetta skaleringsmodellið ikki brúkast til hetta arbeiðið.

4.3 Ward and Ferro [1993]

Ward and Ferro [1993] kannaðu skaleringina av einum pelagiskum troli við at samanbera eitt trol við eitt model av sama troli. Serliga varð hugt at hvørja ávirkan tað hevur á skaleringina, at tráðurin í modellinum ikki verður toygdur eins nógv, sum í trolinum í fullari stødd. Ward and Ferro [1993] mæla til at nýta Froudtals skalering, har samlað stødd á netstrukturinum verður nýtt sum karakteristisk stødd. Harafturat mæla teir til, at hædd verður tikin fyri toyggjanini av línunum í trolinum, tá línur, t.d. høvuðslína, verða settar í modellið.

4.4 Ferro et al. [1996]

Ferro et al. [1996] skjóta upp, at skaleringstreytin skal verða grunda á lutfallið millum dragið og statisku kreftirnar, t.v.s. vektina. Í kapitul 3 varð víst, at tað er eitt ávíst samband millum dragið, t.e. vatnrøttu kreftirnar og loddrøttu kreftirnar. Dragið er givið við formil 13, og roknað verður við, at vektin er javnstór við rúmdina, t.v.s. $\sim L^3$. Lutfallið millum dragið og rúmdina kann skrivast:

$$\frac{D}{V} = \frac{\rho u^2 L^2 C_D(Re)}{L^3} = \frac{\rho u^2 C_D(Re)}{L} \tag{75}$$

og skaleringstreytin er, at henda stødd verður varðveitt.

4.5 Samanumtøka

Skaleringsmodellini, sum her eru nevnd, eru gjørd til at skalera trol og byggja á skalering við konstanum Froudtali. Eitt fortoya net ella streymforðing, kann uppfatast sum ein foreinkling av einum troli vegna tess:

- Bert ein meskastødd
- Vinkulin millum net og vatnstreym er ongastaðni heilt lítil
- Allir meskarnir standa heilt opnir (netið stendur eftir leggi)

Ein fortoya nót ella streymforðing er rættuliga einkul í bygnaði, og harvið er eisini lutfalsliga lætt at rokna kreftirnar, sum virka á nótina.

Ein aliringur er eisini rættiliga einkul í bygnaði, men í mun til streymforðingina hevur ein aliringur net við øllum vinklum í mun til streymin.

4.6 Skalering av aliútgerð

Vanliga verður skalerað við konstantum Froudtalið, tá arbeitt verður við aliútgerð [Linfoot and Hall, 1986], men tað verður eisini arbeitt við at bøta um skaleringsmodellini í hesari vinnuni [Fredriksson et al., 2003], men enn er hetta tilfarið ikki útgivið.

5 Skaleringsmodell við varierandi dragtali

Um dragtalið (c_D) er kent bæði fyri netið, sum verður brúkt í fullari stødd, og fyri netið, sum verður brúkt í modellinum, kann eitt skaleringsmodell gerast, soleiðis at tyngdarkreftirnar og dragkreftirnar eru eins skaleraðar.

Gingið verður út frá, at um dragkraftin er rætt skalerað, so er liftkraftin tað eisini.

5.1 Tyngdarkreftir

Hesar kreftir eru:

- Tyngdin ella uppdriftin sum virkar á netið
- Tyngdin frá loddum
- Uppdrift frá flotum

Av tí at tað truplasta at fáa at passa tá arbeitt verður við modellum er at finna passandi modelnet, verður útgangspunkt tikið í lutfallinum millum tyngdina á modelnetinum ($G_{n,m}$) og á netinum í fullari stødd ($G_{n,p}$). Hetta lutfall verður sett til at verða skaleringsfaktorurin millum kreftirnar(S_F).

$$S_F = \frac{G_{n,M}}{G_{n,F}} \tag{76}$$

Tyngdarkraftin á netið verður roknað soleiðis:

$$G_n = g(\rho_n - \rho_w)V = g(\rho_n - \rho_w)\frac{\pi}{2}d^2 m\, N \tag{77}$$

har ρ_n er tættleikin á tilfarinum, sum netið er úr, ρ_w er tættleikin á vatninum, d er tráðtjúktin í netinum, m er meskastøddin (hálvur meski, mált millum miðjurnar á knútunum) og N er talið av meskum.

Forholdið millum tyngdarkraftina á netið í modellinum og í fullari stødd verður roknað soleiðis:

$$S_F = \frac{G_{n,m}}{G_{n,p}} = \frac{\rho_{n,m} - \rho_{w,m}}{\rho_{n,p} - \rho_{w,p}} S_d^2 \frac{S_L^2}{S_m} \tag{78}$$

har

$$S_d = \frac{d_m}{d_p} \tag{79}$$

$$S_L = \frac{L_m}{L_p} \tag{80}$$

$$S_m = \frac{m_m}{m_p} \tag{81}$$

og L er diameturin á aliringinum.

Tyngd frá loddum (G_l) og uppdrift frá flotum (B_f) verður so skalerðað soleiðis:

$$G_{l,m} = S_F G_{l,p} \tag{82}$$

$$B_{f,m} = S_F B_{f,p} \tag{83}$$

5.2 Dragkreftir

Dragkraftin (D) á eitt net verður sambært formil 20 roknað soleiðis:

$$D = \frac{1}{2}\rho\, c_D\, u^2 A_t \tag{84}$$

Forholdið millum dragkraftina á netið í modellinum og á netið í fullari stødd kann roknast soleiðis:

$$\frac{D_m}{D_p} = \frac{\rho_{w,m} c_{D,m}(u_m)}{\rho_{w,p} c_{D,p}(u_p)} \frac{S_d S_u^2 S_L^2}{S_m} \tag{85}$$

har $u_m = S_u u_p$.

Hetta forholdið skal verða tað sama sum lutfallið millum tyngdarkreftirnar á netið.

$$\frac{D_m}{D_p} = \frac{G_{n,m}}{G_{n,p}} = S_F \tag{86}$$

Við at seta inn fæst:

$$Su^2 = \frac{(\rho_{n,m} - \rho_{w,m})}{(\rho_{n,p} - \rho_{w,p})} \frac{\rho_{w,p} c_{D,p}(u_p)}{\rho_{w,m} c_{D,m}(u_m)} S_d \tag{87}$$

Um bæði $c_{D,m}(S_u u_p)$ og $c_{D,p}(u_p)$ eru kendar funktiónir, so kann

$$\frac{D_m}{D_p} = S_F \tag{88}$$

loysast fyri S_u. S_u verður ein funktión av u_m ella u_p, og loysnin kann verða meir og minni trupul, alt eftir hvussu funktiónirnar fyri c_D síggja út, men til ber at finna loysnina numeriskt.

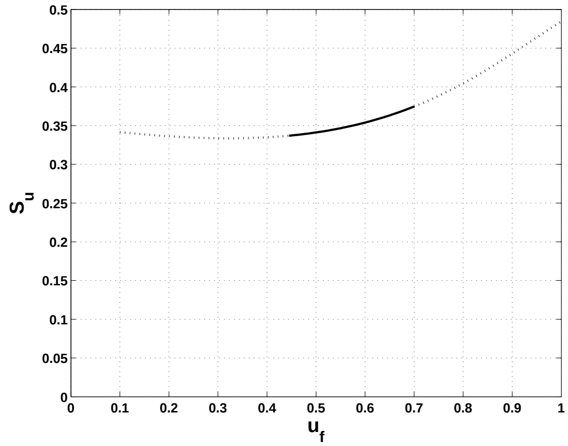
Loysnin fyri skalering av einum 128 m aliringi í støddarskala 1:20 sæst á mynd 13. Um c_D ikki hevði varierað við Reynoldstalinum, so hevði S_u verið konstant.

6 Niðurstøða

Í frágreiðingini er greitt frá grundleggjandi ástøði, sum hevur við hydrodynamikkin rundan um net í sjónum at gera, kreftir á fortoyðaði net í streymi og skalering av strukturum úr neti, sum eru ávirkaðir av streymi.

Út frá ástøðiliga tilfarinum er ein rokniháttur uppsettur, har finnast kann útav hvussu eitt net, sum hongur úr einum floti í erva við einari vekt í neðra, stendur í streymi.

Í frágreiðingini er eisini hugt eftir hvussu roknast kann ímillum útgerð í model stødd og somu útgerð í fullari stødd. Í lesnaðinum eru serliga skaleringar millum ymsar støddir av trolum viðgjørdar. Út frá hesum tilfarinum er eitt skaleringsmodel gjørt, sum er ætlað til at rokna millum aliútgerð í ymsum støddum.



Mynd 13: Ferðskaleringsfaktor (S_u) fyri model av 128 m aliringi (Myndin er frá Patursson and Simonsen [2003]).

Neyðugt er at eftirkanna skaleringsmodellið neyvari, áðrenn úrslitini verða tikin við fullum álvara. Skaleringsmodellið er tó nýtt at gera royndir í brunninum hjá Vóni-ni við 1:20 og 1:50 skala modellum av aliringum [Patursson et al., 2003, Patursson and Simonsen, 2003], og í mun til hvat alarar greiða frá, so tykist at skaleringsmod-ellið er á rættari leið.

Um rættilig vissa skal fáast fyri, at skaleringsmodellið gevur røtt úrslit, er neyðugt við mátingum av, hvussu ein álinót í fullari stødd uppførir seg í streymi. Hesar mátingar eru settar í gongd.

Heimildir

R. S. T. Ferro, B. van Marlen, and K. E. Hansen. An emperical velocity scale relation for modelling a design of a large mesh pelagic trawl. *Fisheries Research*, 28:197–230, 1996.

D. W. Fredriksson, M. R. Swift, I. T. J. D. Irish, and B. Celikkol. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements. *Aquacultural Engineering*, 27, 2003.

A. L. Fridman. *Calculations for fishing gear designs.* Fishing News Books Ltd, Farnham, Surrey, England, 1986.

B. T. Linfoot and M. S. Hall. Analysis of the motions of scale-model sea-cage systems. In *IFAC Automation and data processing in aquaculture*, Trondheim, Norway, 1986.

G. Løland. *Current forces on and flow through fish farms.* PhD thesis, University of Trondheim, 1991.

F. G. O'Neill. Small-scale modelling rules of trawl nets. *Fisheries Research*, 18: 173–185, 1993.

O. Patursson and K. Simonsen. Ástøðilig útgreinan av ávirkan á fortoyaða nót og model skalering. Technical Report 2003:08, The University of the Faroe Islands, Torshavn, Faroe Islands, 2003.

O. Patursson, K. Simonsen, K. Zachariassen, and J. H. Johannesen. Royndir við 1:20 modelli av aliringi. Technical Report 2003:07, The University of the Faroe Islands, Torshavn, Faroe Islands, 2003.

J. N. Ward and R. S. T. Ferro. A comparison of one-tenth and full-scale measurements of the drag and geometry of a pelagic trawl. *Fisheries Research*, 17:311–331, 1993.