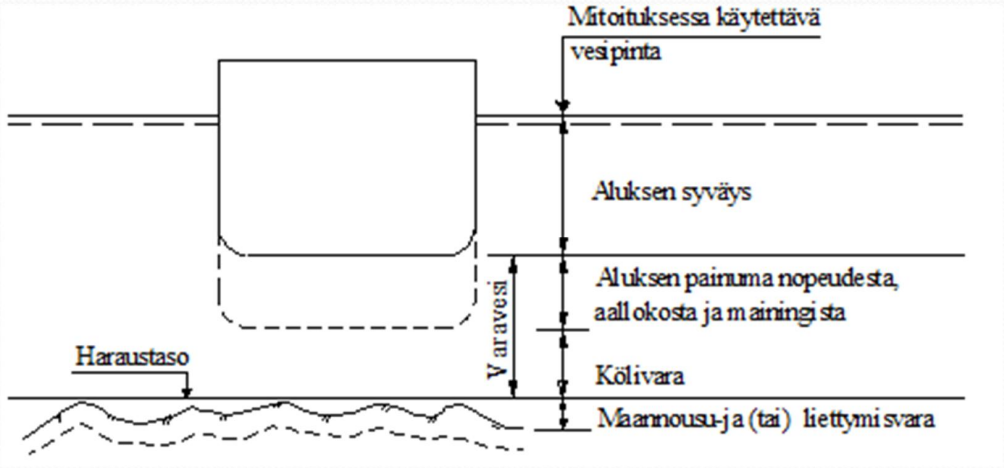
Vesiväylänsuunnittelukoulutus

osa 1: Väylänsuunnittelun perusteet 7. -9.10.2014

Väylän syvyyden määrittäminen

Olli Holm/Liikennevirasto

Käsitteet



Huomioitavat tekijät

- Mitoituksessa käytettävä vedenkorkeustaso
- Aluksen syväys (aluksen paikoillaan ollessa l. staattinen syväys))
- Aluksen nopeudesta aiheutuva painuma (nopeuspainuma eli squat)
- Aallokon aiheuttamat aluksen heilahtelut
- Aluksen mahdollinen kallistuminen kaarteessa (määritetään tapauskohtaisesti)
- Tarpeellinen kölivara
- Mahdollinen liettymä- ja/tai maannousuvara (määritellään tapauskohtaisesti)
- Veden suolapitoisuuden vaikutus on otettava tarvittaessa huomioon.

Vedenkorkeustaso

- Väylän syvyyden mitoittaminen tehdään lähtökohtaisesti ko. suunnitteluhankkeessa käytetystä vedenkorkeuden vertailutasosta.
  - merialueilla tietyn vuoden keskiveden taso (MW-taso)
  - sisävesillä purjehduskauden aliveden taso (NW_{nav})

- Etenkin säännöllinen, aikatauluun sidottu liikenne, voi edellyttää alivesitilanteiden huomioimista suunnittelussa
  - varaveteen lisätään tietty vara alivesitilanteita varten sopivaksi katsotun pysyvyysprosentin mukaan, tai että vastaava lisä huomioidaan lisänä väylän kulkusyvyydessä (kulkusyvyys mitoitusaluksen nimellistä syväyttä suurempi).

Aluksen nopeuspainuma (squat)

- Aluksen liike synnyttää virtauksen aluksen ympärille, josta aiheutuu puolestaan vedenpinnan lasku.
- Aluksen nopeuspainuma aiheutuu ensisijaisesti vedenpinnan painumasta, mutta lisäksi siihen vaikuttavat aluksen pitkittäiskaltevuus sekä potkurivirtaus
- Squatin suuruuteen vaikuttaa ennen muuta alusnopeus ja vesisyvyys sekä vesipoikkileikkausalan väljyys. Squat suurenee alusnopeuden kasvaessa sekä väylän vesipoikkileukkausalan ja vesisyvyyden pienetessä. Vesisyvyyden ollessa yli 1,5 T, squatilla ei ole enää oleellista merkitystä mitoitukseen.
- Aluksen squat-käyttäytyminen vaihtelee riippuen aluksen tyypistä ja rungon muodosta.
- Aluksen kulkuvastus kasvaa nopeuden kasvaessa. Aluksen koneteho ei matalassa vedessä yleensä riitä kasvattamaan alusnopeutta niin suureksi, että alus saisi väylällä pohjakosketuksen nopeuspainuman johdosta.

Aluksen nopeuspainuma (squat)

Ilmiötä kuvaa Frouden luku F_{nh}, joka määritetään kaavalla:

$F_{nh} = v / \sqrt{g \times h}$,
v = alusnopeus
h = vesisyvyys
g = 9,81 m/s2

Yleensä kauppa-alusten koneteho mahdollistaa nopeuden, jolla Frouden luku on noin 0,6 - 0,7 (alustyypistä riippuen).
Suuret Frouden luvun arvot (Fnh = 0,7 … 1,0) ovat mahdollisia , kun alus tulee täydellä vauhdilla syvästä vedestä kynnysmäisen matalikon päälle, jolloin matalikko ei ehdi hidastaa aluksen nopeutta, ja squat kasvaa nopeasti suureksi aiheuttaen pohjakosketusvaaran.

Aluksen nopeuspainuma

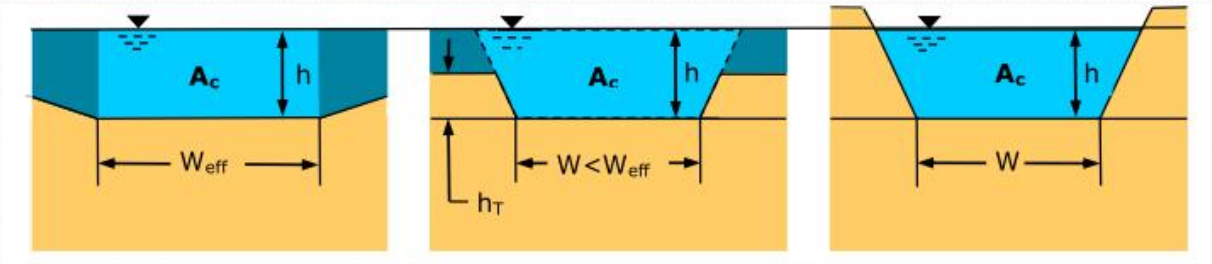
- Rajanopeudet Frouden luvulla 0,6 – 0,7

Vesisyvyys h (m)	Rajanopeus (m/s)	Rajanopeus (solmua)
6,0	4,6 - 5,4	8,9 – 10,5
8,0	5,3 - 6,2	10,3 – 12,0
10,0	5,9 - 6,9	11,4 – 13,4
12,0	6,5 - 7,6	12,6 – 14,7
14,0	7,0 - 8,2	13,6 – 15,9

Nopeuspainuman määrittäminen

Kolme perustapausta poikkileikkaustyypin perusteella

- Tyyppi A Avovesipiikkileikkaus
- Tyyppi B Ruopattu väylä tai kapeikko
- Tyyppi C Kanava tai hyvin kapea salmi



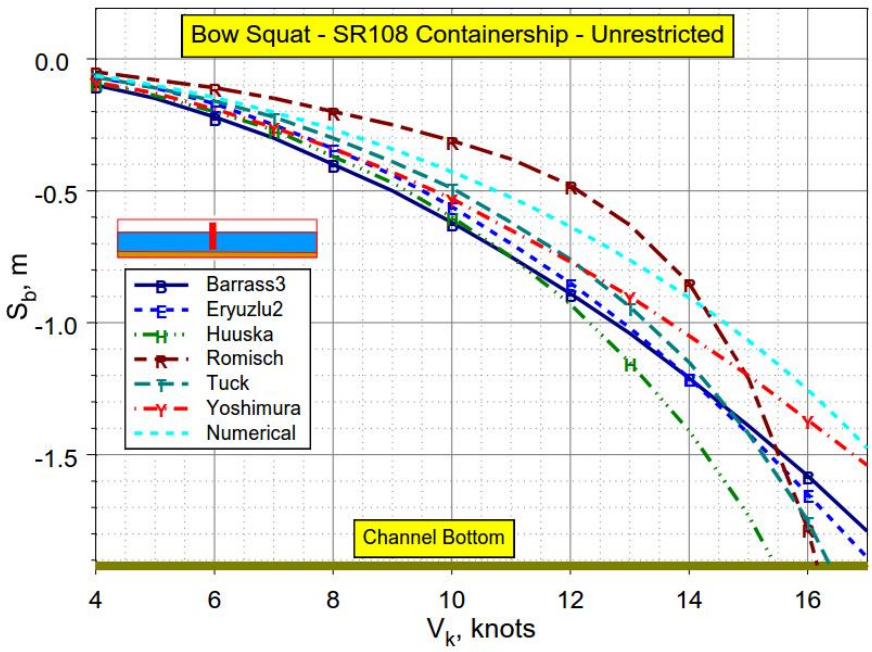
Nopeuspainuman määrittäminen

- Nopeuspainuman määrittämistä varten on kehitetty lukuisia laskentakaavoja
- Eri menetelmillä saadut tulokset ovat yleisesti ottaen samaa suuruusluokkaa. Suuremmilla alusnopeuksilla erot saattavat kasvaa merkittäviksi.
- Yleisesti käytetään **Huuska/Gulievin** laskentamenetelmää, joka soveltuu käytettäväksi kaikille poikkileikkaustyypeille.
- Laskentakaavat ovat todellisuutta approksimoivia likiarvomenetelmiä ja antavat suuntaa antavia tuloksia (yleensä turvalliselle puolelle). Mitoitusta voidaan tarkistaa/varmentaa käyttämällä useita eri laskentakaavoja

Liik enne vira sto

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Nopeuspainuman määrittäminen



Liik enne vira sto

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Nopeuspainuman määrittäminen

$S = C_0 \times C_B\ B\ T / L_{pp} \times F_{nh}^2 / \sqrt{1 - F_{nh}^2} \times K_S$

C_o = aluksen muodosta johtuva kerroin, jolle esitetään arvoja 1,75 … 2,4

- C_o = 2,4 erittäin suurille ja täyteläisille aluksille, uppouman täyteläisyys yli 0,8
- C_o = 2,0 normaalimuotoisille aluksille, joiden täyteläisyys on 0,7 … 0,8
- C_o = 1,7 virtaviivaisille aluksille, joiden täyteläisyys on alle 0,7

C_B = uppouman täyteläisyyskerroin

L_{pp} = aluksen keula- ja peräpystysuorien välinen etäisyys (ns. perpendikkelipituus/vesiviivan pituus)

T = aluksen syväys

B = aluksen leveys

- F_{nh} = Frouden luku $F_{nh} = v / \sqrt{g * h}$
  - v = alusnopeus
  - h = vesisyvyys
  - g = 9,81 m/s²

Nopeuspainuman määrittäminen

K_s = väyläpoikkileikkauksen muodon huomioon ottava kerroin

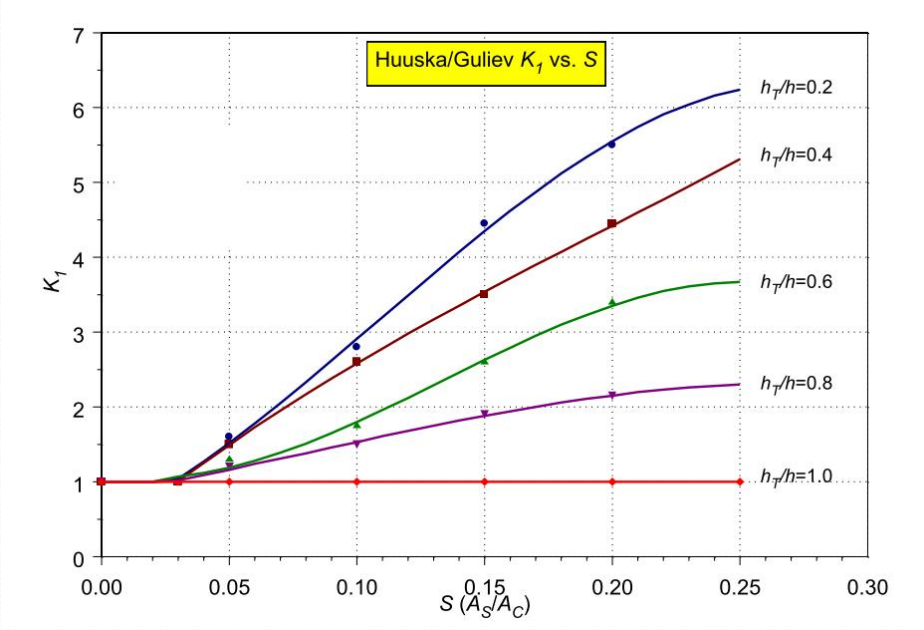
- $K_S = 7{,}45\ s_1 + 0{,}76$ $s_1 > 0{,}03$ (poikkileikkaustyypit B ja C)
- $K_S = 1{,}0$ $s_1 < 0{,}03$ (poikkileikkaustyyppi A)

$s_1 = A_s / A_c \times 1 / K_1$

- A_s = aluksen poikkileikkausala
- A_c = väyläpoikkileikkauksen pinta-ala
- K_1 voidaan määrittää seuraavan dian kuvan käyrästöstä alus- ja väyläpoikkileikkausalojen suhteen perusteella

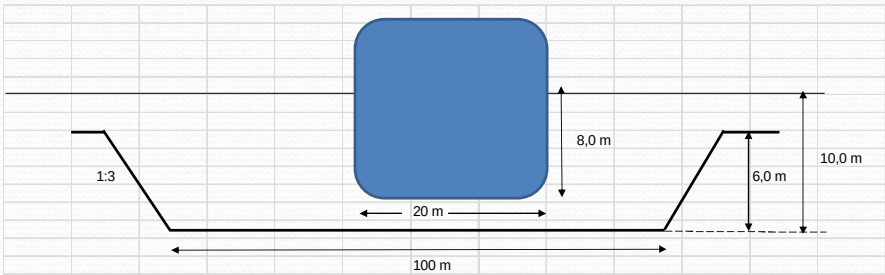
- Reunaehdot Huuska/Guliev-kaavan käytölle:
- F_{nh} < 0,7
- C_B 0,60 ... 0,80
- B/T 2,19 ... 3,50
- L_{pp}/B 5,50 ... 8,50

Nopeuspainuman määrittäminen



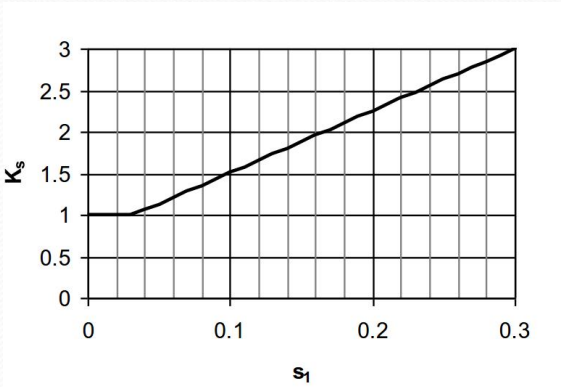
Huuska/Guliev: kertoimen K_1 määritäminen

Nopeuspainuman määrittäminen



$S = A_S/A_C = 160\ m^2/1300\ m^2 = 0{,}12$
$h_\gamma/h = 0{,}6$
$K_1 = 0{,}12$ (edellisen dian käyrä)
$s_1 = S/K_1 = 0{,}12/2{,}1 = 0{,}057$

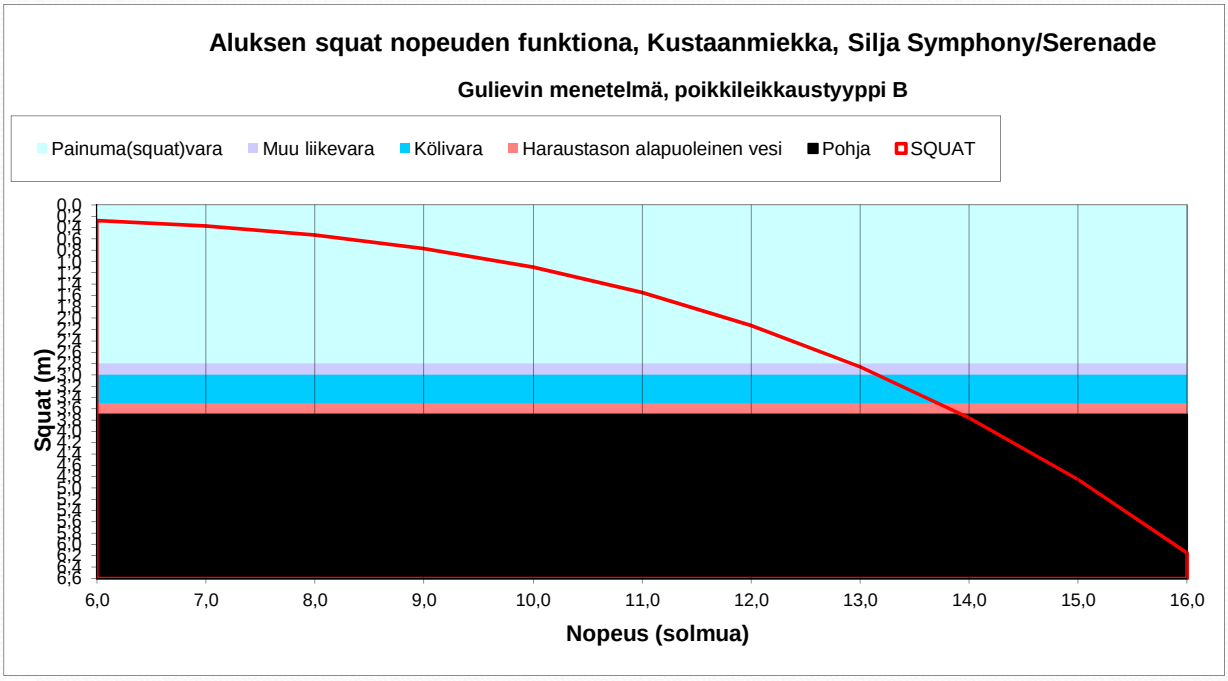
$K_S = 7{,}45 \times S_1 + 0{,}76 = 1{,}18$



Nopeuspainuman määrittäminen

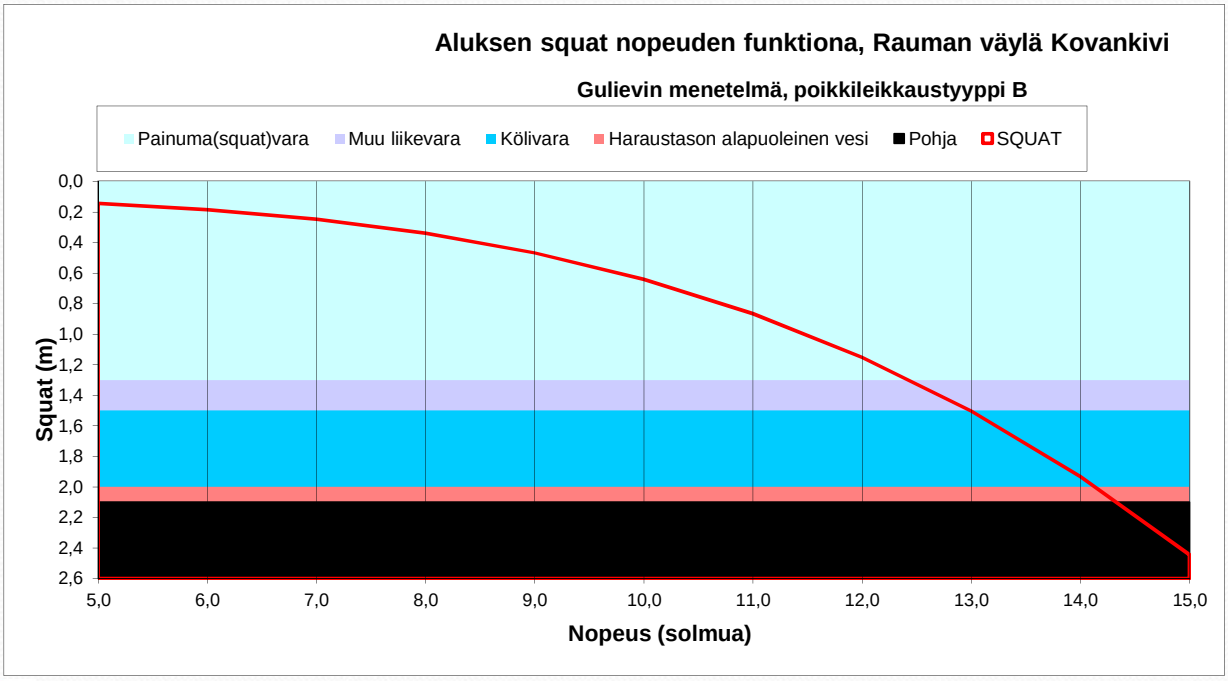
- Squat-laskelmissa käytettävä vesisyvyys määritetään poikkileikkauksen keskimääräisen vesisyvyyden mukaan (vähintään n. 1/3 aluspituuden matkalla).
- Yksittäiset syvyyspiikit (esim. lohkareet) eivät vaikuta vesipoikkileikkausalaan ja sitä kautta aluksen hydrodynaamiseen käyttäytymiseen.
- Ruoppausalueiden kohdalla squat-laskelmissa käytettävissä vesisyvyysarvoissa on syytä huomioida yliruoppaus, l. keskimääräinen vesisyvyys on ruopatulla alueella aina jonkin verran (keskimääräisen yliruoppauksen verran) teoreettista haraussyvyyttä suurempi.

Nopeuspainuman määrittäminen



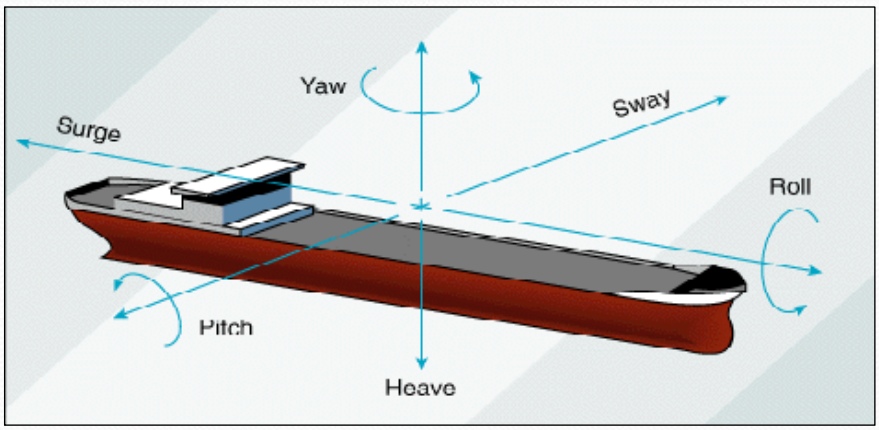
Liik enne vira sto
TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Nopeuspainuman määrittäminen



Aallokosta aiheutuvat vertikaaliliikkeet

- Aallokosta aiheutuvina aluksen pystysuuntaisina liikkeinä voidaan erottaa:
  - jyskintä (pitch), aluksen keinunta pituussuunnassa
  - kohoilu (heave) vertikaalisuunnassa tapahtuva aluksen kohoilu aallokon mukana
  - keinunta (roll) aluksen keinunta sivusuunnassa



Aallokosta aiheutuvat vertikaaliliikkeet

- Aallokosta aiheutuvat aluksen liikkeet riippuvat mm. aallokon ja aluksen mitoista sekä aallokon ja aluksen kulkusuunnan välisestä kulmasta.
- Aallokosta aiheutuvien aluksen liikkeiden määrittämiseksi on kehitetty useita eri laskentamenetelmiä, mutta ne yleensä liioittelevat aluksen liikkeitä
- Mitoitus tehdään kokemusperäisesti
  - Suojaisilla sisäosilla luokkaa 0,2 m
  - Ulko-osalla luokkaa 0,5 m

	Wave height (m)							
	0.5	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
Vessel's length overall (L_{pp} in m)	Vertical displacement (m)							
75	0.10	0.17	0.34	0.58	0.76	1.02	1.30	1.58
100	0.05	0.14	0.28	0.46	0.65	0.87	1.12	1.36
150	0.00	0.09	0.20	0.34	0.51	0.69	0.87	1.08
200	0.00	0.05	0.15	0.26	0.40	0.57	0.72	0.92
250	0.00	0.03	0.10	0.21	0.33	0.48	0.63	0.80
300	0.00	0.00	0.07	0.16	0.25	0.39	0.56	0.68
400	0.00	0.00	0.04	0.11	0.18	0.31	0.51	0.58

Alusten muut kallistumat

- Aallokosta aiheutuvan kallistelun lisäksi kallistumaa voi syntyä sivutuulen vaikutuksesta sekä kaarteessa keskipakoisvoiman aiheuttamana.
  - Tuulesta aiheutuvan kallistuman suuruuteen vaikuttaa oleellisesti aluksen tuulipinta-ala ja aluksen painopisteen sijainti.
  - Kaarteessa aluksen kallistumaan vaikuttaa käännöksen kulmanopeus (aluksen nopeus ja kaarresäde).
  - Arvioitava tarvittaessa tapauskohtaisesti

Kölivara

- Edellytys aluksen ohjattavuudelle ja pohjakosketuksien välttämiselle
- Kölin alla kaikissa tilanteissa oltava tietty kölivara (jäännösvaravesi, net underkeel clearance)).
- Kölivaraan sisällytetään myös väylän haraussyvyyden varmistamisessa käytetyille mittausmenetelmille ominaiset satunnaiset epätarkkuudet.
- Kölivarana esitetään normaalitilanteessa käytettäväksi seuraavia arvoja:
  - meriväylät 0,5 m
  - sisävesiväylät 0,3 m

Liettymis- ja maannousuvara

- Liettyminen on Suomen väylillä yleisesti ottaen varsin vähäistä.
  - Niillä väylillä ja sellaisilla alueilla, joilla liettymistä on todettu tai arvioidaan tapahtuvan, on liettymisvara syytä huomioida ylimääräisenä lisänä väylän haraussyvyyttä määritettäessä.
  - Väylän varavesitarkastelussa (varaveden riittävyyden arvioinnissa) liettymisvaraa ei oteta huomioon.
- Maan kohoamisen vaikutus on merkittävin Pohjanlahden alueella
  - Merivedenpinnan kohoaminen vähentää maannousun mataloittavaa vaikutusta.
  - Näiden yhteisvaikutuksena syntyvä nk. keskivedenpinnan aleneminen otetaan harkinnan mukaan huomioon todellista haraussyvyyttä määritettäessä (ylimääräisenä lisänä mitoitettuun varaveteen).

Väylän varaveden ja haraussyvyyden mitoitus

- Väylän varaveden ja haraussyvyyden määrittämistä varten väylä jaetaan yleensä erityyppisiin osuuksiin:
  - ulko-osa (aallokon vaikutuksille avoin merialue)
  - sisäosa (matalikoiden ja saarten suojaama merialue)
  - satama-allas (satamaoperointiin käytettävä alue, jossa alusnopeudet pieniä, yleensä merenkäynniltä suojainen)
  - Lisäksi voidaan tehdä tapauskohtaisia tarkasteluja
- Alustavassa suunnittelussa käytettäviä arvoja (voidaan soveltaa noin 6 m kulkusyvyyteen saakka)
  - väylän ulko-osalla : 1,2 x T tai vähintään 1,5 m
  - väylän sisäosalla : 1,15 x T tai vähintään 1,0 m,
  - satama-altaassa: 1,1 x T tai vähintään 0,6 m.

Liikennevirasto

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Väylän varaveden ja haraussyvyyden mitoitus

Tarkemmassa suunnittelussa varaveden määrä tulee aina tarkistaa käymällä varaveteen vaikuttavat eri tekijät. Huomiota tulee kiinnittää mm. seuraaviin osatekijöihin:

- nopeuspainuman (squat) määrittäminen kriittisissä väyläpoikkileikkauksissa; onko nopeutta tarpeen rajoittaa ja onko määritetty rajanopeus riittävä aluksen ohjailtavuuden säilyttämiseksi?
- alueen aallokko-olosuhteet ja vaarallisimpien aaltojen suunta suhteessa väylän linjaukseen
- matalien sijoittuminen kaarrealueille: onko tarvetta huomioida aluksen kaarteessa tapahtuva kallistuma lisänä varavedessä?
- mitoitusalustyypin tuulipinta-ala (onko merkityksellinen aluksen kallistumaa silmällä pitäen?)
- vedenkorkeusvaihtelut: onko tarvetta vedenkorkeusvaihteluiden (alivesitilanteiden) erikseen huomiointiin?

Liikennevirasto

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Väylän varaveden ja haraussyvyyden mitoitus

Jatkoa huomioitaviin osatekijöihin

- liettymisvaran huomiointi; onko tarvetta?
- ruoppauskustannukset:
  - ruoppausmäärien ja kustannusten ollessa suuria, mitoitus on tehtävä mahdollisimman huolellisesti kaikki käytettävissä oleva tieto hyödyntäen.
  - vältytään ylimitoituksesta johtuvilta turhilta kustannuksilta mutta varmistetaan väylän turvallisuus ja käytettävyys
- pohjan laadun mahdollinen huomiointi:
  - ei vaikuta aluksen käyttäytymiseen ja varavesitarpeeseen, mutta vaikuttaa merkittävästi ruoppauskustannuksiin
  - kova lohkareinen pohja ja kallio lisäävät mahdollisen pohjakosketuksen vahinkoriskiä, mikä on syytä huomioida varavesitarkastelussa.

Liikennevirasto

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Väylän varaveden ja haraussyvyyden mitoitus

- aluksen pystyliikkeet ovat monista eri osatekijöistä koostuva prosessi, jonka yksikäsitteinen laskennallinen määrittely eri tekijöitä yhteen summaamalla johtaa helposti ylisuuriin varavesiarvoihin mikä on syytä ottaa myös mitoitustarkastelussa huomioon.
- useampia mitoitusaluksia käytettäessä, on varavesitarkastelu syytä tehdä kussakin tapauksessa kriittisimmän aluksen/alustyypin mukaan, mahdolliset väylän käyttösuositukset ja -rajoitukset myös huomioiden
- joissain tilanteissa varaveden mitoitus voi olla tarpeen tehdä hyvinkin paikallisesti normaalista poiketen niin, että tietyissä kriittisissä väyläkohdissa varavesi voi poiketa ko. väyläosuudella muuten käytetystä varavedestä

Liikennevirasto

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SQUAT-LASKENTA Huuska-Icorels -kaava (Poikkileikkaustyyppi C)

Huom. Täytöt vain keltaisiin kenttiin!

Kaava:

$$\frac{\Delta t_{max}}{t} = Co \frac{C_B b}{l_{pp}} \frac{F^2{}_{nh}}{\sqrt{1 - F^2{}_{nh}}}$$

(RIL 123, v. 1979, s. 210)

MENETELMÄN RAJOITUKSET:

C_B <= 0,75

b / l_{pp} <= 0,16

Aluksen nopeus v (kn)	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0
Aluksen nopeus v (m/s)	6,2	6,7	7,2	7,7	8,2	8,7	9,3	9,8	10,3	10,8	11,3
Frouden luku Fnh	0,59	0,64	0,69	0,74	0,79	0,84	0,89	0,94	0,99	1,04	1,09
SQUAT (Co = 1.7)	0,56	0,69	0,84	1,04	1,30	1,66	2,22	3,31	9,00	#LUKU!	#LUKU!
SQUAT (Co = 2.0)	0,65	0,81	0,99	1,23	1,53	1,95	2,61	3,89	10,59	#LUKU!	#LUKU!
SQUAT (Co = 2.4)	0,78	0,97	1,19	1,47	1,84	2,35	3,13	4,67	12,71	#LUKU!	#LUKU!

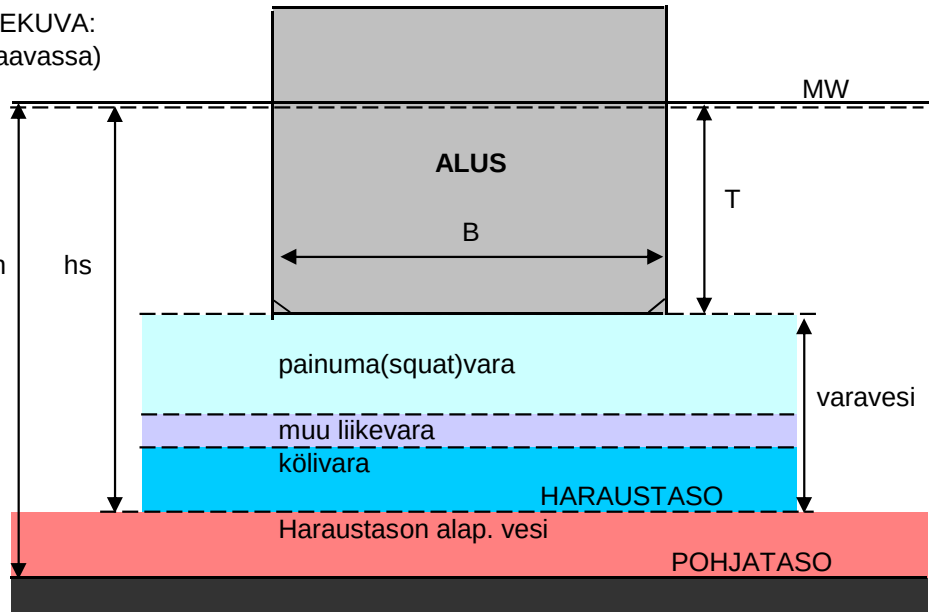
LÄHTÖARVOT:

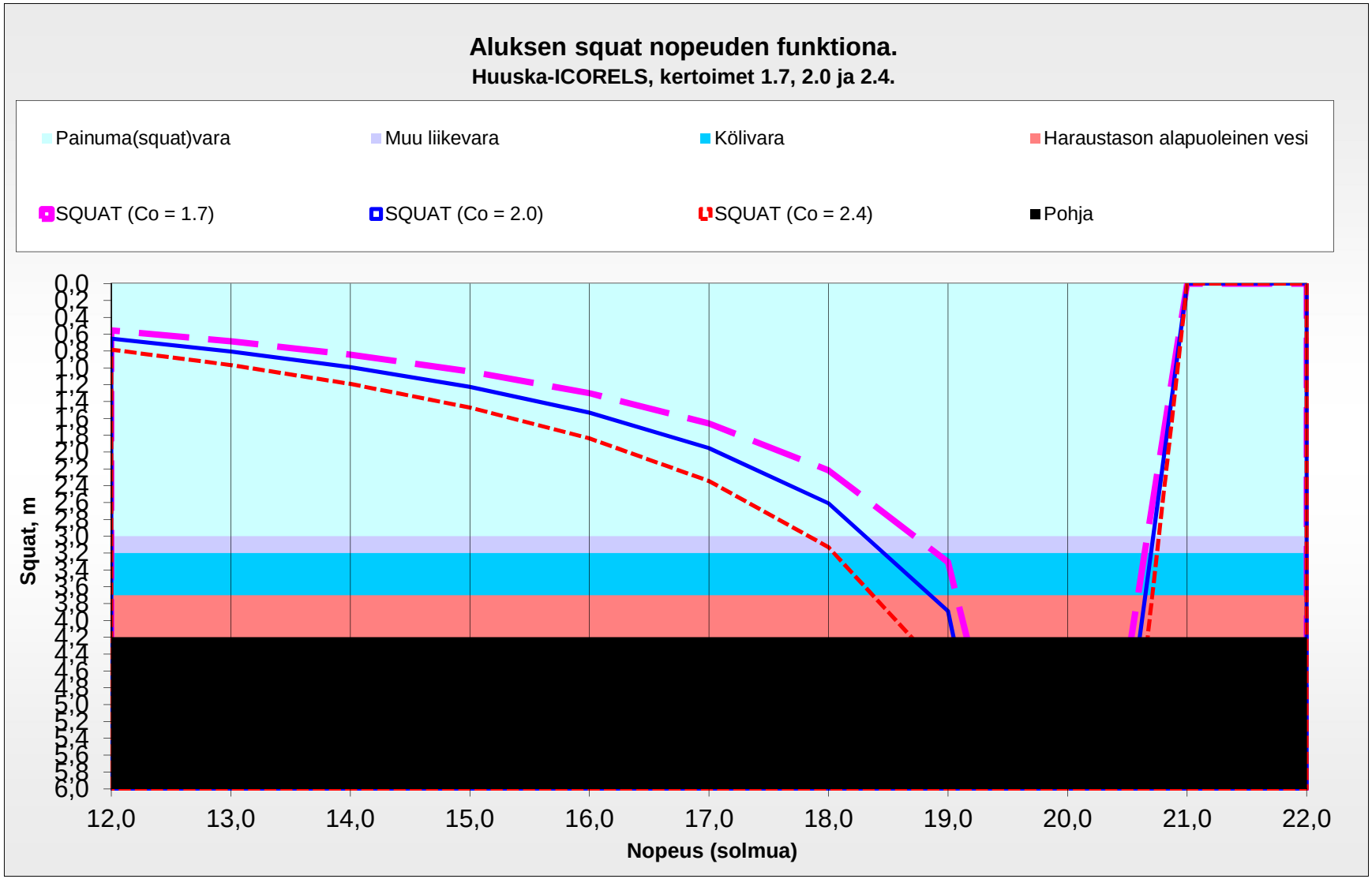
Aluksen leveys B =	31,8	m
Aluksen pituus Lpp =	218,0	m
Uppouman täyt.aste C_B =	0,75	
B / L_{pp} =	0,15	
Aluksen syväys T =	6,8	m
Haraussyvyys hs =	10,50	m
Vesisyvyys h =	11,0	m
Varavesi	4,2	m
- kölivara (A) *	0,5	m
- muu liikevara (B) **	0,2	m
- painuma(squat)vara (C)	3,5	m

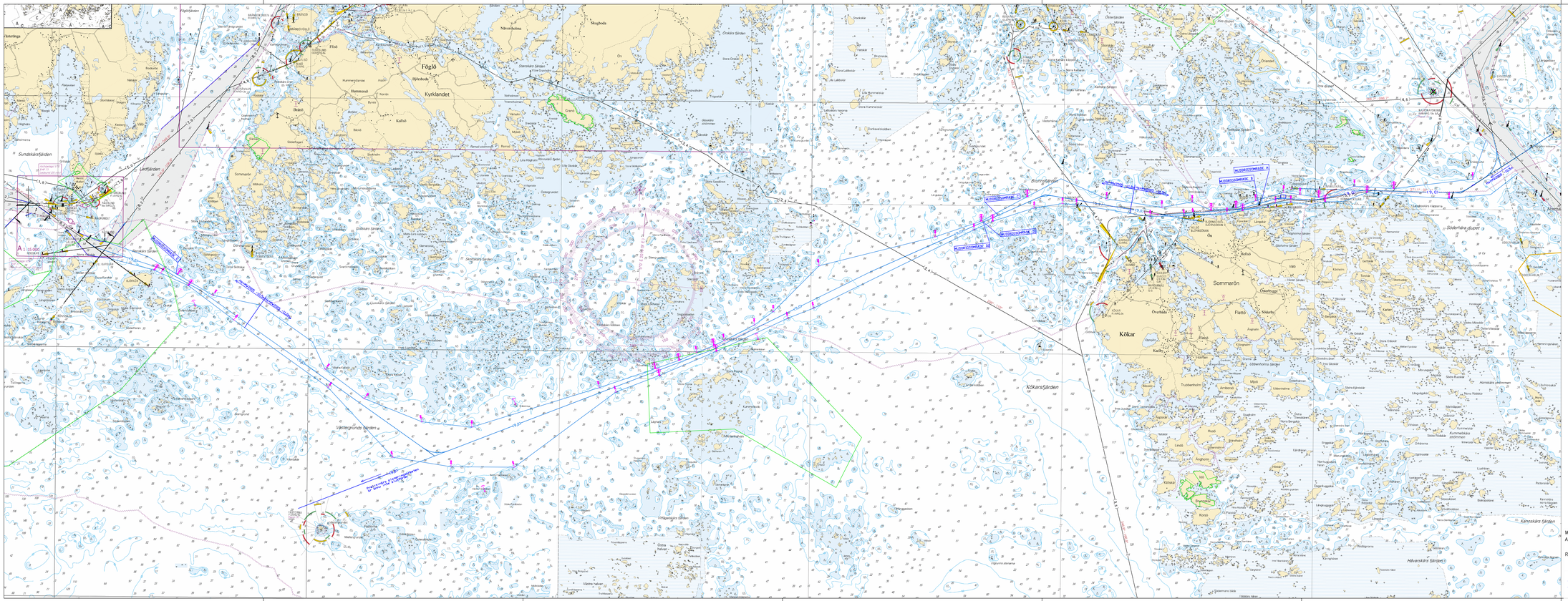
* Kölivara meriväylillä yleensä 0,5 m.

** Muu liikevara sisältää mm. aallokosta ja aluksen kallistumista aiheutuvat liikkeet, arvioita tapauskohtaisesti olosuhteiden mukaan.

PERIAATEKUVA:
(ei mittakaavassa)




Aluksen squat nopeuden funktiona.
Huuska-ICORELS, kertoimet 1.7, 2.0 ja 2.4.
Painuma(squat)vara
Muu liikevara
Kölivara
Haraustason alapuoleinen vesi
SQUAT (Co = 1.7)
SQUAT (Co = 2.0)
SQUAT (Co = 2.4)
Pohja
Squat, m
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4
2,6
2,8
3,0
3,2
3,4
3,6
3,8
4,0
4,2
4,4
4,6
4,8
5,0
5,2
5,4
5,6
5,8
6,0
12,0
13,0
14,0
15,0
16,0
17,0
18,0
19,0
20,0
21,0
22,0
Nopeus (solmua)


Föglö
Kyrklandet
Sundskärsfjärden
Ledfjärden
Brunnsfjärden
Kökarsfjärden
Sommarön
Kökar
Sidenhära sundet
Hävarskärs fjärden
Kärnskärs fjärden
Mudderverksamhet
Mudderverksamhet 2
Mudderverksamhet 3
Mudderverksamhet 4
Mudderverksamhet 5
Mudderverksamhet 6
Mudderverksamhet 7
Mudderverksamhet 8
Mudderverksamhet 9
Mudderverksamhet 10
Mudderverksamhet 11
Mudderverksamhet 12
Mudderverksamhet 13
Mudderverksamhet 14
Mudderverksamhet 15
Mudderverksamhet 16
Mudderverksamhet 17
Mudderverksamhet 18
Mudderverksamhet 19
Mudderverksamhet 20
Mudderverksamhet 21
Mudderverksamhet