

Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 1/2001

Laiivaväylien suunnitteluohjeet



Merenkululaitos

Helsinki 2001
ISSN 1456-9442



08 MKL

8840

SISÄLLYSLUETTELO

OHJEIDEN SOVELTUVUUSALUE	2
TIIVISTELMÄ	2
1. YLEISTÄ	6
2. ALUSTEN MITAT JA NAVIGOINTIOMINAISUUDET	7
2.1 <i>Mitoitusalus</i>	7
2.2 <i>Alusten mittoja</i>	8
2.3 <i>Alusten navigointiominaisuudet</i>	9
2.31 Kääntymisominaisuudet	9
2.32 Suuntavakavuus	11
2.33 Pysähtymisominaisuudet	11
3. VÄYLÄ	12
3.1 <i>Linjauksen suunnittelu</i>	12
3.2 <i>Kaarteet</i>	14
4. VÄYLÄN LEVEYS	16
4.1 <i>Yleistä</i>	16
4.2 <i>Suoran väylän leveys</i>	16
4.21 Yksikaistaisen suoran väylän leveys	18
4.22 Kaksikaistaisen suoran väylän leveys	20
4.3 <i>Vertailu kansainvälisiin suosituksiin</i>	21
4.4 <i>Väylän leveys kaarteissa</i>	23
4.5 <i>Väylän ulkoalueet ja selkävesialueet</i>	24
4.6 <i>Odotusalueet</i>	24
5. VÄYLÄN SYVYYS	25
5.1 <i>Yleistä</i>	25
5.2 <i>Aluksen nopeuspainuma (squat)</i>	26
5.3 <i>Aallokosta aiheutuva aluksen painuma</i>	31
5.4 <i>Kölivara</i>	31
5.5 <i>Liettymis- ja maannousuvara</i>	32
5.6 <i>Kansainvälisiä suosituksia varavedelle</i>	32
6. VÄYLÄN MERKINTÄ	33
6.1 <i>Yleistä</i>	33
6.2 <i>Linjamerkintä</i>	35
6.3 <i>Reunamerkintä</i>	35
6.4 <i>Majakat</i>	37
6.5 <i>Merkintäesimerkkejä</i>	37
7. SILTA-AUKOT	40
7.1 <i>Yleistä</i>	40
7.2 <i>Silta-aukon leveys</i>	40
7.3 <i>Johteiden sijoittelu</i>	41
LÄHDEKIRJALLISUUTTA:	42

LIITTEET

OHJEIDEN SOVELTUVUUSALUE

Näiden ohjeiden mitoituserusteet ja suositukset on tarkoitettu ensisijassa uppoumatyyppisten alusten käyttämien meriväylien suunnitteluun. Ohjeita ja suosituksia voidaan käyttää väylän linjauksen ja väylämittojen määrittämisessä sekä väyläkohtaisten turvalaitteiden alustavassa suunnittelussa. Näitä ohjeita voidaan käyttää soveltuvin osin myös sisävesiväylien vastaavassa suunnittelussa lukuunottamatta virtapaikkoja, jotka on syytä mallintaa.

Tämän ohjeen perusteella valittu väylän linjaus ja leveys tarkistetaan usein simulaattorissa.

Väylämerkinnän osalta näissä ohjeissa on esitelty lähinnä yleisiä merkintäperiaatteita ja pelkistettyjä ratkaisumalleja. Linjamerkinnän osalta on tarkempia suunnitteluohjeita esitetty MKL:n ohjeessa "Linjalaskenta". Myös kaavaillun väylämerkinnän toimivuus voidaan tarkistaa simulaattorissa.

Näissä ohjeissa ei ole tarkasteltu nippu-uittoa. Nippu-uitto saattaa määrätä sisävesillä väylän leveyden.

TIIVISTELMÄ**I. YLEISTÄ**

Laivaväylän teknillinen suunnittelu koostuu karkeasti seuraavista osista:

- väylän mitoitusaluksen tai -alusten määrittelystä,
- linjauksen suunnittelusta,
- väylän leveyden määrittämisestä,
- tarvittavan varaveden/haraussyvyyden määrittelystä sekä
- merkinnän suunnittelusta.

Edellä mainittuja osatehtäviä ei voida ratkaista erillisinä, koska etenkin väylän linjaus, leveys ja merkintä ovat voimakkaasti riippuvaisia toisistaan. Väyläsuunnitelma on myös riippuvainen liikennemääristä. Vähäinen liikenne perustelee yleensä vain yksikaistaisen minimi-ratkaisun. Liikennemäärien kasvaessa voidaan yleensä nostaa väylän tasoa ja investoida mm. linjauksen parantamiseen ja/tai leveyden suurentamiseen; ts. tehdä jotain myös navigoinnin helpottamiseksi.

II. ALUSTEN MITAT JA NAVIGOINTIOMINAISUUDET

Taulukoissa 2, 3 ja 4 sekä kuvassa 1 on esitetty eri tyyppisten alusten päämittoja.

Kuvissa 3... 7 on vastaavasti tarkasteltu autolautan, konttialuksen ja tankkialuksen kääntymistä peräsinkulman, nopeuden ja olosuhteiden muuttuessa.

Navigointiominaisuuksista on tärkein aluksen käyttäytyminen käänöksessä. Aluksen kääntymisnopeus on ensisijaisesta riippuvainen peräsinkulmasta. Nopeuden vaikutus kaarresäteeseen on väyläsuunnittelun kannalta merkityksettömän pieni. Nimellinen kaarresäde esitetään yleensä suoraan verrannollisena aluspituuteen.

III. LINJAUKSEN SUUNNITTELU

Linjauksen suunnittelun osalta ovat päätavoitteet seuraavat:

- linjauksen tulisi olla mahdollisimman suora,
- väylälinjojen tulisi olla mahdollisimman pitkiä,
- yli 30° käänöskulmia tulisi välttää,
- myös väylien risteyksiä tulisi pyrkiä välttämään,
- S-kaarteita saa käyttää vain erikoisjärjestelyin. (hinaaja-avustus yms.)

Käytännössä linjauksen valintamahdollisuudet ovat kuitenkin yleensä varsin rajoitetut, sillä pohjan topografia määrää väylän edullisimman paikan. Linjauksen muutokset vaikuttavat useimmiten erittäin voimakkaasti ruoppauskustannuksiin.

Linjauksen karkea luokittelu on esitetty kuvassa 9.

Keskimääräisenä kaarresäteenä voidaan suunnittelussa käyttää arvoa $R = 5 \times$ aluspituus, kun suunnanmuutos on vähintään 30°. Alle 30° suunnanmuutoksilla on $R = 5 \dots 10 \times$ aluspituus suunnanmuutoksen suuruudesta riippuen.

IV. VÄYLÄN LEVEYS

Väylän leveyttä määritettäessä suositellaan käytettäväksi analyttistä, mitoitustapaa, jossa väylän leveys saadaan summana sellaisista osatekijöistä, joiden suuruutta pystytään olosuhteiden yms. tekijöiden perusteella arvioimaan. Esimerkiksi yksikaistaisen väylän vaadittava leveys (B) muodostuu seuraavasti:

$$B = b_n + 2b_l$$

$$b_n = b + b_m + b_s + b_p + b_t + b_e + b_v$$

b	= mitoitusaluksen leveys
b _n	= navigointikaista (aluksen käyttämä väyläalue)
b _m	= aluksen tahattoman mutkailun aiheuttama navigointikaistan leveneminen
b _s	= tuulen tai virtauksen aiheuttama navigointikaistan leveneminen
b _p	= pohjan epätasaisuudesta aiheutuva navigointikaistan leveneminen
b _t	= varaveden pienuudesta aiheutuva navigointikaistan leveneminen
b _e	= paikanmäärityksen epätarkkuus
b _v	= lastin vaarallisuudesta johtuva navigointikaistan levitys
b _l	= luiskavara/reunavara

Edellä oleva muuttujien erittely kattaa kaikki aluksen poikittaiseen tilantarpeeseen vaikuttavat oleelliset tekijät. Ko. muuttujille on esitetty ohjearvot kohdassa 4.21 ja niitä määrättäes-

sä on otettu huomioon sekä PIANC:n vuonna 1997 antamat suositukset että Suomen erityisolosuhteet.

Yllä olevista muuttujista tuulen, virtauksen ja mutkailun aiheuttama navigointikaistan leveneminen voidaan tarkistaa kenttämittausten, fysikaalisten mallien tai simuloinnin avulla.

Paikanmäärityksen epätarkkuus riippuu puolestaan väylä- ja aluskohtaisista turvalaitteista. Siten merkintäsuunnitelma tulee laatia niin, että mitoituksessa käytetty tarkkuustaso saavutetaan normaaleilla aluskohtaisilla turvalaitteilla.

Pohjan epätasaisuudesta, pienestä varavedestä ja lastin vaarallisuudesta johtuvat navigointikaistan levitystarpeet ovat suuruudeltaan samoja, jotka on esitetty PIANC:n vuonna 1997 antamissa suosituksissa ”Approach Channels; A Guide for Design”.

Kun navigointikaistan leveydessä ovat mukana kaikki aluksen poikittaiseen tilantarpeeseen vaikuttavat tekijät, niin riittää, kun luiskavara määrätään niin suureksi, ettei ns. reunaimu vaikuta haitallisesti ohjattavuuteen.

Kaksikaistaisen väylän leveys määritetään periaatteessa samoin kuin yksikaistaisenkin väylän leveys. Ainoana lisämuuttujana on alusvara. Alusvaran tarve ja suuruus on analoginen luiskavaran kanssa.

V. VÄYLÄN SYVYYS

Väylän tarpeellinen vesisyvyys riippuu mitoittavan aluksen syvyyksestä ja nopeudesta, paikallisista aallokko-olosuhteista sekä väyläpoikkileikkauksen koosta suhteessa aluspoikkileikkaukseen. Alueilla, joissa aallokko on pientä suhteessa aluksen mittoihin, voidaan tarpeellinen vesisyvyys määrittää laskennallisesti riittävän tarkasti. Sen sijaan aallokosta aiheutuvien aluksen heilahtelujen määrittämiseksi ei ole onnistuttu kehittämään väylän mitoitukseseen soveltuvia laskentamenetelmiä. Varaveden tarve on tällaisessa kohdin arvioitava kokemuksen perusteella. Aluksen todellisen painuman mittaaminen väylällä on myös mahdollista.

VI. VÄYLÄN MERKINTÄ

Väylän merkinnän on oltava suhteessa

- väylän linjaukseen,
- väylän leveyteen
- olosuhteisiin, joissa väylää käytetään sekä
- väylän liikennetiheyteen.

Mutkaisella ja kapealla väylällä tarvitaan huomattavasti tehokkaampi merkintä kuin suoralla ja leveällä väylällä. Samoin merkinnän on oltava runsaampaa, jos väylällä joudutaan navigoimaan myös huonoissa näkyvyysolosuhteissa.

Aluksen paikanmääritys tapahtuu väylänavigoinnissa sekä väyläkohtaisten (viitat, poijut, reunamerkit, linjamerkit, loistot ja majakat) että aluskohtaisten turvalaitteiden (tutka,

DGPS) avulla. Merkinnän suunnittelussa on lähdettävä siitä, että aluksen paikka voidaan kaikissa käytettävissä olosuhteissa määrittää jatkuvasti ja riittävällä tarkkuudella em. turvalaitteiden avulla.

VII. SILTA-AUKOT

Silta-aukon minimileveytenä voidaan pitää arvoa $1,5 \times$ alusleveys. Tällöin aukkoon on rakennettava laivajohteet. Sisävesistöissä ja suojaisessa paikassa voidaan sallia aukkoleveys $2 \times$ alusleveys ilman laivajohteita. Sillan ja maaliikenteen turvallisuus saattaa kuitenkin edellyttää törmäyssuojien rakentamista, joilla estetään sillan vaurioituminen aluksen törmäyksestä.

LAIVAVÄYLIEN SUUNNITTELUOHJEET

1. YLEISTÄ

Väyläsuunnittelulla tarkoitetaan seuraavassa väylän linjauksen sovittamista pohjasuhteita, liikennettä ja olosuhteita vastaavaksi, väylän poikkileikkausmittojen määrittämistä sekä väyläkohtaisten turvalaitteiden paikan ja tyyppin määrittelyä. Suunnittelun tavoitteena on luonnollisesti hyvän ja turvallisen väylän aikaansaaminen, mutta hankkeen toteuttamiskustannukset pakottavat usein tinkimään tavoitteista. Se, kuinka kauas ideaaliratkaisusta joudutaan poikkeamaan, riippuu ensisijaisesti väylän rakennuskustannusten ja pääomitettujen kuljetuskustannussäästöjen suhteesta. Yleensä laskennallisten hyötyjen on oltava selvästi rakennuskustannuksia suuremmat ennen kuin hanke voidaan toteuttaa.

Taulukossa 1 on lueteltu väyläsuunnittelun keskeiset tavoitteet sekä niiden ratkaisumallit. Käsitteet väylän hyvyydestä tai huonoudesta ovat kuitenkin hyvin subjektiivisia, sillä mieltään yleisesti hyväksytyjä arvosteluperusteita väylän laadulle ei ole olemassa.

Tavoite väylälle	Ratkaisu/ edellytys
Helppo navigoida	Suora, Leveä, Hyvin merkitty
Turvallinen	Väylätilan mitat ja merkintä oikeassa suhteessa liikenteen laatuun ja määrään, Alusnopeudet sopeutettu väylän mittoihin
Taloudellinen käyttää	Suuri kulkusyvyys, Ei liikenne rajoituksia, Mahdollisimman lyhyt, Ei jäävaikeuksia/Ei talviliikennettä
Halpa rakentaa ja pitää kunnossa	Pienet rakentamiskustannukset (= kapea, mutkainen, pieni kulkusyvyys, halvat turvalaitteet tai muuten olemassa oleviin olosuhteisiin mukautettu luonnonväylä), Pienet ylläpitokustannukset (vähän turvalaitteita), Helpot jääolosuhteet

Taulukko 1: Väyläsuunnittelun tavoitteet ja niihin liittyvät teoreettiset ratkaisut

Väyläsuunnittelussa ei useinkaan voida pitää kiinni tietyistä ennalta määritellyistä standardilaatutasosta, koska tällöin voi koko hanke jäädä toteuttamatta. Toisaalta suunnittelun tueksi ei myöskään ole annettavissa mitään ehdottomia kriteerejä tai raja-arvoja. Väylää voidaan tutkia mm. navigointisimulaattorissa tai mallikokeilla, mutta tulosten luotettavuutta ei voida testata kenttämittauksilla, koska täysimittakaavakokeita ei voida viedä suurten taloudellisten menetysten pelossa edes riskirajalle. Näin väyläsuunnitteluun jää pakostakin varsin paljon

väljyyttä. Parhaimmat suunnittelukriteerit onkin ilmeisesti saatavissa tutkimalla käytössä olevia kapeita ja mutkaisia väyliä ja niillä esiintyviä navigointivaikeuksia.

Verrattaessa muissa maissa toteutettuja väyläatkaisuja omiimme on huomattava seuraavat poikkeavuudet:

- Liikennemäärät ovat väylillämme kansainvälisesti katsottuna pieniä. Tämän takia kovin suuriin väyläinvestointeihin ei meillä juurikaan ole taloudellisia mahdollisuuksia.
- Pienistä liikennemääristä seuraa, että alusten karilleajojen ehkäisy on turvallisuutta lisäävistä toimenpiteistä oleellisempi kuin yhteentörmäysten ehkäisy.
- Suomen rannikkovedet ovat matalia sekä saarien ja karien pirstomia. Tämän takia kulkusyvyydeltään matalillakin väylillä joudutaan suorittamaan ruoppauksia. Lisäksi pohjan muotojen pienipiirteisyys tekee väylät pakostakin mutkaisiksi ja epäsäännöllisiksi.
- Matalikot ovat usein joko lohkarista moreenia tai kalliota, joiden poistaminen on kallista.
- Näkyvyys voi syksy- ja talviaikaan olla poikkeuksellisen heikko. Seikka, joka tulee ottaa huomioon turvalaitesuunnittelussa.
- Jää aiheuttaa lisäkustannuksia alusliikenteelle sekä vaikeuttaa väyliä merkintää.
- Virtausnopeudet ovat Suomen merialueilla merialueella navigoinnin kannalta merkityksättömän pieniä lukuun ottamatta Merenkurkun aluetta, missä esiintyy 1,0...1,5 m/s virtausnopeuksia voimakkaiden säämuutosten aikana. Siten yksi väylänleveyttä oleellisesti lisäävä tekijä - virtaus - puuttuu Suomen meriväyliltä.
- Vedenkorkeuden muutokset ovat Itämeren alueella satunnaisia ja esimerkiksi vuoroveden aiheuttamiin vedenkorkeuden muutoksiin verrattuna pieniä, joten niitä on vaikea hyödyntää alusten syväydessä. Sisävesillä vedenkorkeuden muutokset ovat sen sijaan hitaita, ja ne on siten helposti hyödynnettävissä alusten syväyksissä.

Sisävesillä laivaväyliä voi käyttää myös nippu-uitto, joka asettaa lisävaatimuksia väylille ja niiden merkinnälle.

2. ALUSTEN MITAT JA NAVIGOINTIOMINAISUUDET

2.1 Mitoitusalue

Väyliä käyttävä aluskanta on sekä mitoiltaan että navigointiominaisuuksiltaan vaihtelevaa. Mitoitusalue on normaalisti suurin täydessä lastissa toistuvasti väylää käyttävä alue, jonka navigointiominaisuudet ovat keskinkertaiset. Väylän mitoitus voidaan suorittaa tai tarkistaa vajaalastatulle, poikkeuksellisen suurelle aluskoolle, joka käyttää väylää vain tietyissä, normaalia paremmissa olosuhteissa ja/tai hinaajien avustuksella.

Mitoitusalueita voi olla myös kaksi. On mahdollista, että bulk-alue vaatii suurimman väyläsyvyyden, mutta lautta- tai konttialue voi olla määräävä väylänleveyttä tarkasteltaessa.

2.2 Alusten mittoja

Tavallisten rahtialusten (kappaletavara-, tankki- ja bulk-alukset) mittasuhteet ovat seuraavat:

$$b/t \cong 2,5 \text{ (tankkialuksilla } b/t \cong 2,8)$$

$$l/b \cong 6,5 \text{ (6,0...7,0)}$$

l = aluksen pituus (vesiviivan pituus)

b = aluksen leveys

t = aluksen syväys

$$D = C_B \cdot l \cdot b \cdot t$$

$C_B = 0,80...0,85$ bulk-aluksilla, kun $D \geq 25\ 000$ tonnia ja

$C_B = 0,70...0,75$ kappaletavara-aluksilla, kun $D = 5\ 000...40\ 000$ tonnia

D = uppouma

C_B = uppouman täyteläisyysaste

Liitteen 1.1 taulukoissa on esitetty rahtialusten päämittojen riippuvuus kantavuudesta. Erikoisalukset kuten kontti- ja ro-ro-alukset sekä auto- ja junalautat uivat matalammassa ja ovat leveämpiä kuin vastaavan pituiset bulk-alukset. Suomen väylillä liikennöivien auto- ja lastilauttojen päämittoja on esitetty liitteessä 1.2.

Konttialukset vastaavat muodoltaan lauttoja, mutta ovat näitä suurempia. Ns. toisen polven konttialuksen (Panamax) mitat ovat keskimäärin seuraavat:

- Pituus = 210 m
- Leveys = 30 m
- Syväys = 10,5 m

Edellä mainitun konttialuksen kapasiteetti on kuitenkin niin suuri, että aluksen käynti Suomen satamissa on poikkeuksellista.

Jäänmurtaajat voivat jossain tilanteissa tulla määrääviksi väylän mittoja suunniteltaessa. Jäänmurtaajien mitat ovat taulukossa 2.

Jäänmurtaaja	Kone-teho KW	Uppouma t	Pituus m	Leveys m	Syväys m
Jm Fennica	15000	9700	116,70	25,96	8,00
Jm Nordica	15000	9700	116,70	25,96	8,00
Jm Botnica	10000	7600	96,70	24,00	7,80
Jm Urho	16200	9660	104,60	23,80	8,30
Jm Sisu	16200	9660	104,60	23,80	8,30
Jm Otso	15000	9130	99,00	24,20	8,00
Jm Kontio	15000	9130	99,00	24,20	8,00
Jm Voima	10200	5209	83,50	19,40	7,00
Jm Apu	8800	4890	86,50	21,20	7,30

Taulukko 2: Jäänmurtaajien päämitat

Alusten mastonkorkeudet vaihtelevat suuresti. Tämän takia alikulkukorkeuden määrittäminen vaatii useissa tapauksissa erillisen selvityksen. Suuntaa antavina ohjeistuksina voidaan pitää taulukossa 3 mainittuja siltojen vapaan korkeuden arvoja. Tarvittava vapaa korkeus saadaan lisäämällä laivan korkeuteen 0,5 m:n vara.

Väylä	Kulkusyvyys m	Vapaa korkeus m
Sisävesistö, laiva	4,2	12...25,0
" , "	2,4	8,5...12,0
" , uitto	2,4	5,0...8,5
" , proomu	2,4...3,2	5,25...8,0
Rannikko , hinaaja	3,5	13,0
" , laiva	5,0	26,5
" , "	5...6	30,5
" , "	6...7	33
" , "	7...9	38,5

Taulukko 3: Siltojen vapaan korkeuden riippuvuus väylän kulkusyvyydestä

2.3 Alusten navigointiominaisuudet

Alukset ovat navigoitavuudeltaan yksilöllisiä; toiset helpommin, toiset työläämmin navigoitavia. Väyliä mitoitusta ei tule suorittaa harvinaisen aluksen perusteella, vaan mitoituksen lähtökohdaksi tulee yleensä olla alus, jonka navigoitavuus on normaali arvosteluasteikossa: hyvä-normaali-huono. Suomalaiset alukset ovat navigoitavuudeltaan lähes poikkeuksetta joko normaaleja tai sitä parempia.

Aluksen navigointiominaisuuksiin kuuluu mm.:

- käännösominaisuudet
- suuntavakavuus
- pysäytysominaisuudet

2.3.1 Kääntymisominaisuudet

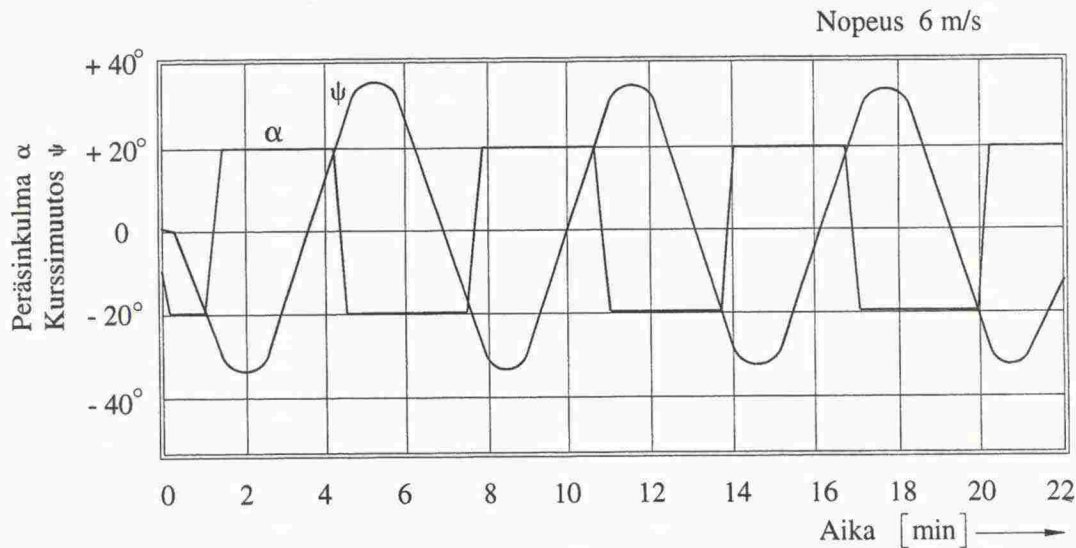
Aluksen kääntymisominaisuuksiin vaikuttaa:

- rungon muoto (täyteläisyys ja keulabulbi)
- peräsienien lukumäärä ja pinta-ala suhteessa aluksen lateraalialaan
- peräsienien kääntymisnopeus
- potkurien lukumäärä ja kiertosuunta
- pienillä nopeuksilla (alle 5 solmua) mm. keulapotkuri

Aluksen kääntymisen ajan aikana riippuu lisäksi:

- peräsinkulmasta
- aluksen nopeudesta
- tuulesta ja aluksen tuulipinta-alasta
- aallokosta
- varaveden suuruudesta

Aluksen kääntymisominaisuuksia tutkitaan mm. Z-kokeella (kuva 1), missä aluksen peräsin käännetään 20° vasemmalle ja odotetaan, kunnes aluksen kurssin muutos on 20° vasemmalle, jolloin peräsin käännetään 20° oikealle ja odotetaan jälleen, kunnes kurssin muutos on 20° oikealle.



Kuva 1: Z-koe (1 = 210 m)

Z-kokeen tuloksista voidaan laskennallisesti määrätä mm. aluksen kääntymiskäyrä, joka tosin useimmiten määrätään myös kokeellisesti. Liitteissä 2.1 ja 2.2 on autolautan, tankkialuksen sekä konttialuksen kääntymiskäyrä peräsinkulman ja nopeuden funktiona. Kuvista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- aluksen kääntymisnopeus (kurssinmuutosnopeus) on riippuvainen ensisijaisesti peräsinkulmasta
- nopeuden vaikutus kääntymiseen on väyläsuunnittelun kannalta merkityksetön
- alus kulkee lähes suoraan kääntymiskomennon jälkeen 1,0... 2,0 aluspituutta
- nimellinen kaarresäde pienenee kurssimuutoksen kasvaessa.

Ulkoisten olosuhteiden vaikutus aluksen kääntymiseen on paljolti alustyyppikohtaista. Alukset, joilla on suuri tuulipinta kuten lautat ja konttialukset ovat herkimpiä ulkoisille olosuhteille. Liitteessä 2.3 on esitetty autolautan kääntymiskäyrien muuttuminen tuulen vaikutuksesta. Simuloinnin perusteella on voitu todeta, että autolautan navigoiminen vaikeutuu, jos aluksen nopeus laskee 20 m/s sivutuulella noin 10 solmuun.

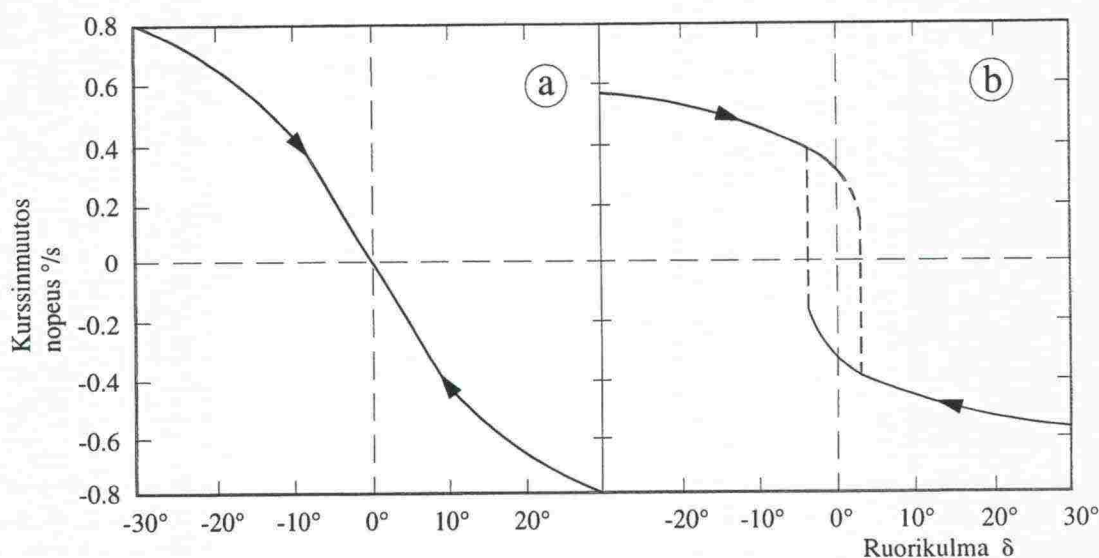
Liitteessä 2.4 on vastaavasti esitetty tuulen vaikutus konttialuksen kääntymiseen.

Täydessä lastissa olevat tankki- ja bulk- alukset ovat puolestaan melko tunteettomia tuulelle. Painolastissa oleva tankkialus kääntyy nopeuksilla 5,0... 7,5 m/s normaalisti, mutta pienillä nopeuksilla (satama-alueella) tarvitaan hinaaja-apua.

2.32 Suuntavakavuus

Alus on suuntavakaa silloin, kun se käännöksen jälkeen alkaa kulkea suoraan vietiässä peräsin keskelle. Epävakaa alus sen sijaan jatkaa kääntymistään, ellei peräsiä viedä keskiasennon yli (kuva 2). Aluksen suuntavakavuus ei sinänsä vaikuta väylän mitoitukseen, koska aluksen käyttäytyminen on tiedossa, ja se on otettava navigoitaessa joka hetki huomioon. Suuntavakavuus luonnollisesti helpottaa navigointia sekä tekee navigoinnin turvallisemmaksi.

Alukset, joiden pituus/leveys on yli 6,5, ovat suuntavakaampia kuin alukset, joiden pituus/leveys on alle 6. Jälkimmäisiä on luonnollisesti helpompi ohjata tiukoissa kaarteissa.



Kuva 2: Suuntavakaa (a) ja epävakaa (b) alus

2.33 Pysähtymisominaisuudet

Alus saadaan pysähtymään joko pysäyttämällä koneet ja antamalla kulkuvastuksen pysäyttää eteneminen tai tekemällä ns. hätäjarrutus, missä alus pysäytetään koneilla. Molemmissa tapauksissa alus menettää suurelta osin ohjattavuutensa ja ajautuu sivuun aikaisemmalta kurssilta. Mitä voimakkaampaa jarruttaminen on, sitä enemmän alus voi ajautua väylän poikkisuunnassa. Siten alueet, joilla joudutaan jarruttamaan voimakkaasti on tehtävä leveämmäksi kuin, jos jarrutus voi olla hidasta. On selvää, että voimakas jarruttaminen suoritetaan vain, jos nopea pysäyttäminen on välttämätöntä esimerkiksi yhteentörmäyksen estämiseksi. Taulukossa 4 on annettu 20 000... 200 000 dwt alusten pysäytysmatka nopeudesta 2,5 m/s. Jos aluksen nopeus ylittää 2,5 m/s, pysäytykseen tarvittava matka, kun koneet käyvät ”puolella taakse”, voidaan määrätä kaavasta:

$$D = 4 \cdot \ell \cdot \left(\frac{v}{2,5} \right)^{3/4} + \ell$$

ℓ = aluspituus m

D = pysäytysmatka m

v = aluksen nopeus m/s, v > 2,5 m/s

Kantavuus Dwt	Pysäytystapa	Suhde: Matka D / Aluspituus	Keskimääräinen py- säytysmatka D m
20 000	a: täysi taakse	2,3	370
	b: puoli taakse	2,7	600
	c: hitaasti taakse	7,2	1 150
50 000	a	1,9	400
	b	4,0	870
	c	6,8	1 500
100 000	a	2,3	580
	b	3,8	980
	c	5,7	1 450
200 000	a	2,7	850
	b	4,1	1 250
	c	6,6	2 050

Taulukko 4: Aluksen pysäytysmatka nopeudesta 2,5 m/s.

3. VÄYLÄ

3.1 Linjauksen suunnittelu

Väylän tulisi olla mahdollisimman suora. Aluksen ohjaaminen pitkin suoraa väylälinjaa on helpointa, tarkinta ja turvallisinta. Suoralla väylällä navigoitaessa voidaan aluksen paikka suhteessa käytettävissä olevaan väylätilaan tarkistaa helposti linjamerkkien, -valojen ja väylän reunamerkin avulla. Mikäli alus on riittävän keskellä väylää ja sen kurssi on sama kuin väylälinjan suunta, tiedetään, että alus on edettyäänkin vielä väylällä. Kaarteissa tilanne on toinen. Aluksen paikka voidaan tarkistaa optisesti vain reunamerkin perusteella ja arvio siitä, pysyykö alus myös jatkossa väylällä, on tehtävä paljon heikommin perusteina kuin suoralla linjalla navigoitaessa.

Väylälinjojen tulisi olla mahdollisimman pitkiä, koska väylämutka muodostaa aina tietyn riskitekijän. Tämän takia väylien merkintä ja turvalaitteet on tehtävä sellaisiksi, ettei väylälinjoja tarvitse lyhentää muiden kuin ruoppauskustannusten suuruuden takia.

Lyhyitä väylälinjoja on pyrittävä välttämään. Väylälinjan tulee aina olla niin pitkä, että aluksella on aikaa kaaroksen jälkeen hakeutua uudelle keskilinjalle ja sen paikka väylälinjalla ehditään tarkistaa, ennen kuin seuraava käänös on aloitettava. Kaarteiden väliin jäävän suoran osan minimipituutena voidaan 10...15 solmun nopeudella pitää 5 x aluspituus. Alle 10 solmun nopeudella riittää 3 x aluspituus.

Suuria kääntymiskulmia (yli 30°) tulisi välttää, sillä riski käänöksen epäonnistumiseen on sitä suurempi, mitä jyrkempi käänös on. Riskit kaarrenavigoinnissa johtuvat lähinnä siitä, että kaaroksen kestäessä on vaikea todeta aluksen siirtymistä väylän poikkisuunnassa. Tämä voi johtaa siihen, että alus on kaarteiden loppuun mennessä huomaamatta siirtynyt ulos väylältä. Vaikka jyrkät kaarteet ovatkin vaikeita navigoida, voidaan esim. yhtä 90° käänöstä pitää parempana ratkaisuna kuin kahta 45° käänöstä minimietäisyydellä toisistaan.

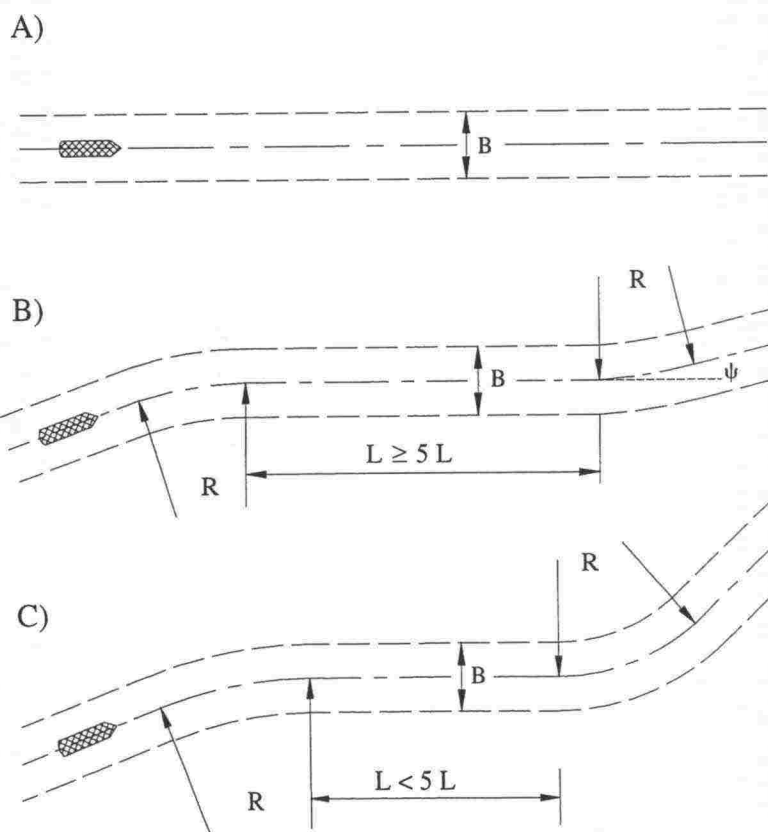
Käännökset tulee ruoppausten minimoimiseksi pyrkiä sijoittamaan täyssyvälle vesialueelle, koska kaarrealueella väylä on normaalia leveämpi. Jos mahdollista, käännöksen sijoittamisessa tulisi pyrkiä myös siihen, että jyrkkä käänös ei päättyisi välittömästi ahtaaseen kaapeikkoon, koska käännöksen korjaukseen ei jää tällöin varaa.

Väylien risteysksiä tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä välttämään. Silloin, kun risteys on välttämätön, tulee molemmilta väyliltä olla hyvä näkyvyys risteävän väylän suuntaan. Risteysalueella tulee olla lisäksi runsaasti täyssyvää vesialuetta, koska alus, jossa ei ole keulapotkuria tai muuta kurssin säilyttämiseen tarvittavaa laitetta, ajautuu koneilla jarrutettaessa helposti pois väylältä. Aluksen nopeuden huomattava pienentäminen, mihin risteysalueella on aina varauduttava, merkitsee jo sinänsä ohjailuominaisuuksien huononemista ja edellyttää väylän leventämistä risteyskohdassa.

S-kaarteita ei väylällä saisi käyttää, ellei väylää käyttävät alukset ole normaalia paremmin ohjautuvia tai ellei ohjausta helpottamaan ole tarjolla hinaaja-avustusta.

Linjausta suunniteltaessa on kiinnitettävä lisäksi huomiota väylän merkintämahdollisuuksiin sekä jääolosuhteisiin, mikäli ne poikkeavat toisistaan eri vaihtoehtojen kesken.

Linjauksen karkea luokittelu on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Linjauksen karkea luokittelu: A) Ideaaliratkaisu,
B) Hyvä, jos $L > 20 L$ ja $\psi < 30$ astetta
C) Sallittu vain poikkeuksellisesti

3.2 Kaarteet

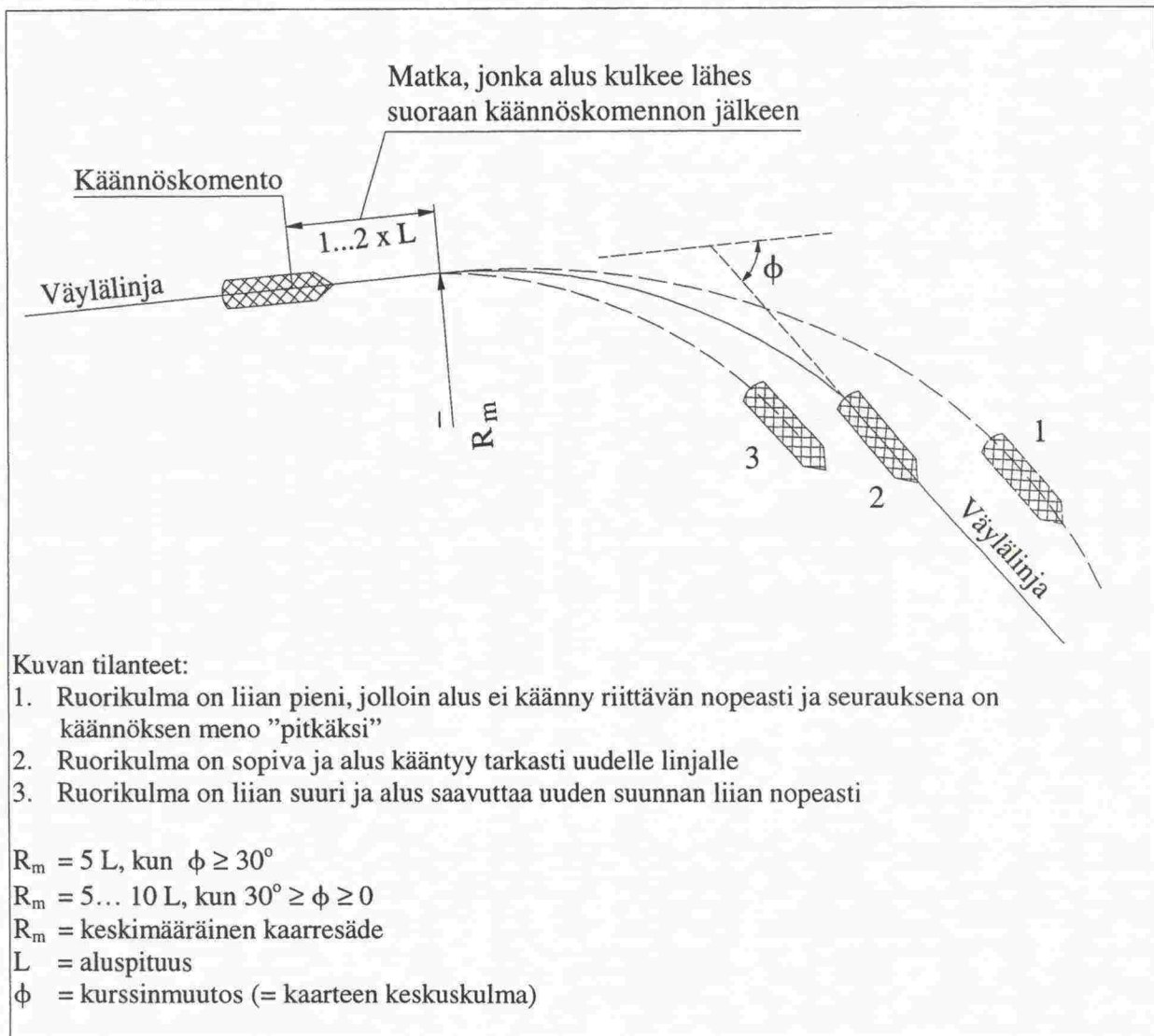
Aluksen liikerata kaarteissa on esitetty pelkistettynä kuvassa 4. Liikerataa voidaan karkeasti approksimoida ympyränkaarella sen jälkeen, kun ratakäyrästä on erotettu käännöskomennon ja peräsimen kääntymisen aikana kuljettu matka. Ratakäyrän kaarresäde R tietyllä hetkellä on

$$R = u/w$$

u = tangentialinopeus

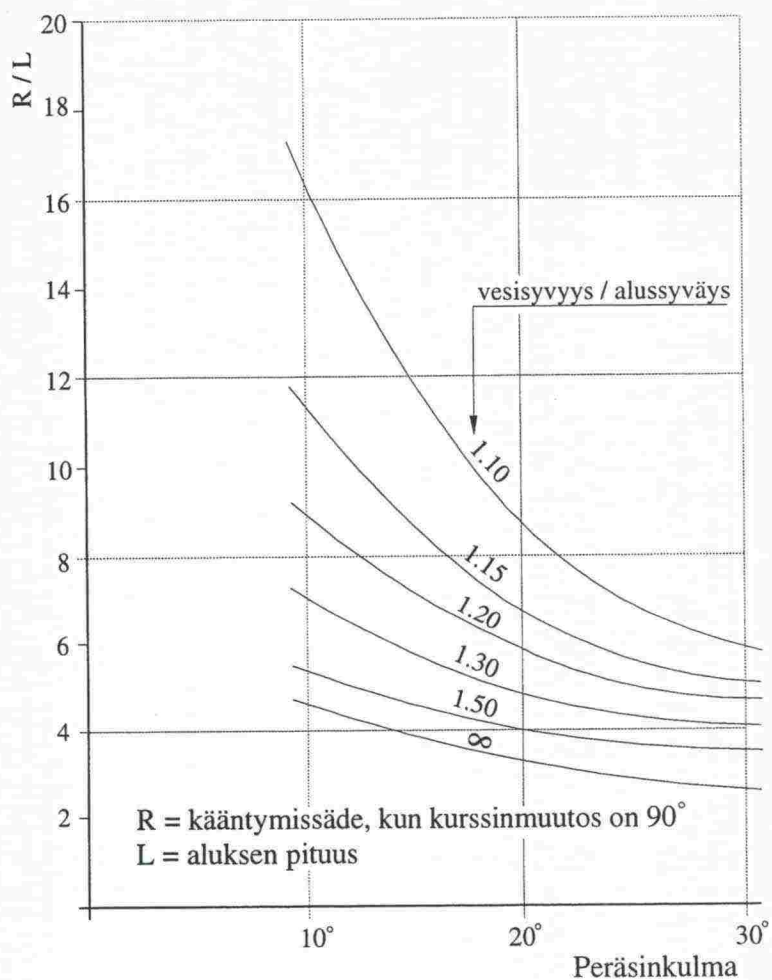
w = kulmanopeus hetkellisen navan suhteen

Sen jälkeen, kun alus on alkanut kääntyä, pysyvät aluksen tangentialinopeus ja kulmanopeus tavallisilla peräsinkulmilla ($10^\circ \dots 20^\circ$) lähes vakiona suunnanmuutoksen aikana (vrt.liite 2.4). Siten myös ratakäyrän säde pysyy niin vakiona, että sitä voidaan approksimoida ympyränkaarella.



Kuva 4: Aluksen liikerata kaarteissa.

Kuvassa 5 on esitetty konttialuksen kääntymissäteen riippuvuus peräsinkulmasta ja vesisyvyydestä. (Aluksessa yksi peräsin ja yksi potkuri)



Kuva 5: Konttialuksen kääntymissäteen riippuvuus peräsinkulmasta ja vesisyvyydestä. (Aluksessa yksi peräsin ja yksi potkuri)

Taulukossa 5 on esitetty autolautan, konttialuksen ja tankkialuksen keskimääräiset kääntymissäteiden arvot 90° kurssinmuutoksille.

Peräsin- kulma	Kääntymissäde		
	Autolautta (L = 116 m)	Konttialus (L = 210 m)	Tankkialus (L = 270 m)
	v = 6...9 m/s	v = 4...11 m/s	v = 3...7,5 m/s
35°	2,2 L	2,0 L	2,5 L
20°	-	2,5...3,0 L	noin 3,3 L
15°	3,9 L	-	-
10°	-	3,5...4,0 L	noin 4,5 L

Taulukko 5: Eri alustyyppien keskimääräisiä kääntymissäteitä 90° kurssimuutoksille

Suunnitellun kaarresäteen tulee vastata noin $15^\circ \dots 20^\circ$ peräsinkulman arvoa ideaaliolosuhteissa, jotta käytännössä jää riittävä pelivara vaikeampia olosuhteita ja poikkeuksellisia tilanteita varten. Kansainvälisten suositusten mukaan pienempää kaarresäteen arvoa kuin 5 x aluspituus ei kuitenkaan saa käyttää muulloin kuin poikkeustapauksissa. Käytännössä alusten kääntymissäteet ovat yli 30° kurssimuutoksissa pienempiä kuin 5 x aluspituus, joten kaarresäteen valinta voidaan suorittaa seuraavasti:

- suunnanmuutos yli 30° $R = 5 \ell$
- suunnanmuutos $30^\circ \dots 0^\circ$ $R = 5 \ell \dots 10 \ell$

4. VÄYLÄN LEVEYS

4.1 Yleistä

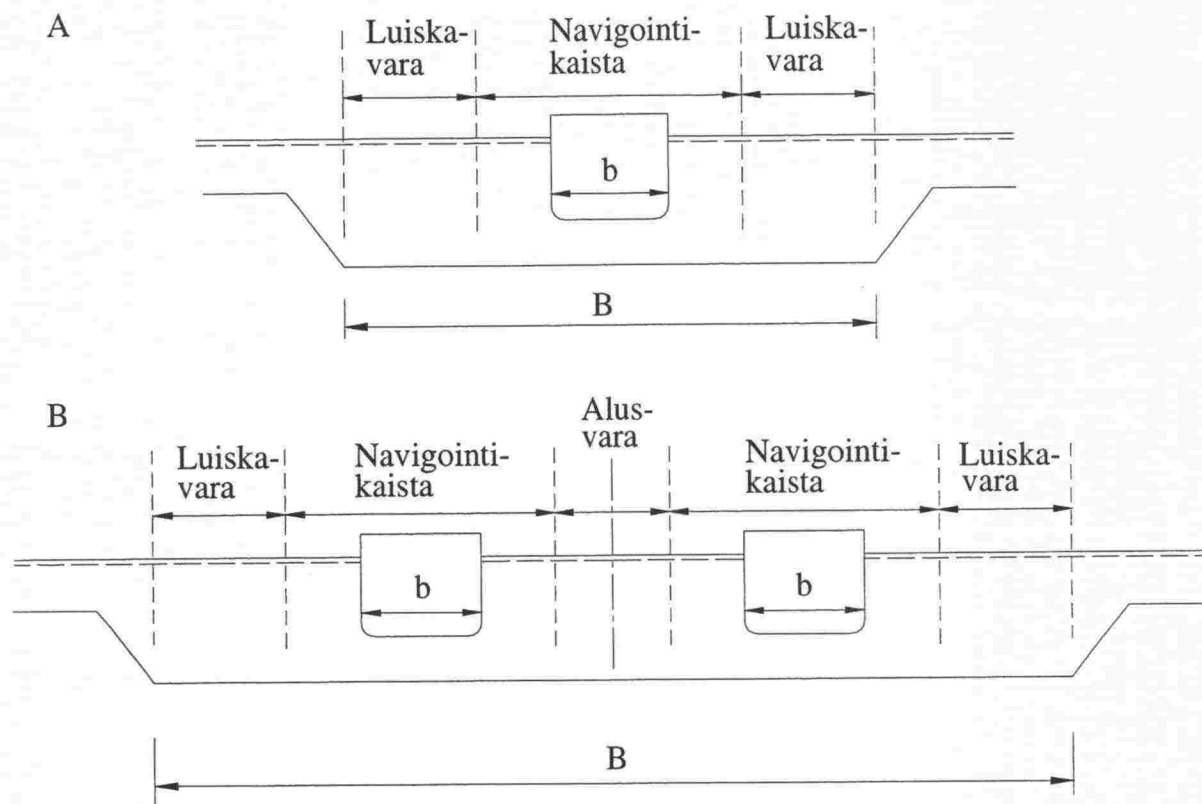
Väylän leveydelle ei ole mahdollista eikä myöskään tarkoituksenmukaista antaa ehdottomia raja-arvoja, koska aluksen tilantarve riippuu erittäin monista tekijöistä, joita ei pystytä tarkasti selvittämään. Tarkimmin väyläleveys voidaan määrittää selvittämällä leveyteen vaikuttavat osatekijät erikseen sekä vertaamalla niitä jonkin vastaavantyyppisen käytössä olevan väylän arvoihin. Väylän leveyteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- Aluksen koko. Väylän leveys ilmoitetaan yleisesti aluksen leveyden (b) kerrannaisina.
- Aluksen navigointiominaisuudet. Alus mutkailee tahattomasti myös ideaaliolosuhteissa, mikä lisää aluksen poikittaista tilantarvetta. Mutkailua voidaan rajoittaa tarkalla ohjauksella.
- Olosuhteet. Tuuli ja virtaus aiheuttavat sortoa, mikä lisää aluksen tilantarvetta. Säilyttääkseen ohjattavuutensa on aluksen voitava pitää yllä olosuhteisiin nähden riittävää nopeutta.
- Pohjan epätasaisuus. Lisää mutkailua.
- Pieni varavesi. Lisää mutkailua.
- Aluksen paikanmääritysmahdollisuudet. Paikanmäärityksen epätarkkuus lisää väylän leveyttä.
- Lastin vaarallisuus. Lasin vaarallisuus otetaan väylänleveydessä huomioon vaarallisuuslisällä.
- Liikennemäärä. Liikennemäärän perusteella ratkeaa se, onko väylä yksikaistainen vai kaksikaistainen.
- Kustannukset. Mitoitusteknisesti ei kustannuksilla pitäisi olla mitään vaikutusta väylän leveyteen. Todellisuudessa kustannukset vaikuttavat kuitenkin muita tekijöitä voimakkaammin. Silloin, kun väylän rakentamiskustannukset pituusyksikköä kohti tulevat suuri, pyritään yleensä väylän leveys minimoimaan. Tällöin tulevat harkittavaksi mm. väylän tekeminen paikallisesti yksikaistaiseksi, paikanmäärityksen tehostaminen, liikenerajoitukset epäedullisissa olosuhteissa yms.

4.2 Suoran väylän leveys

Tarkastelun selventämiseksi jaetaan väylän poikkileikkaus seuraaviin kaistoihin (kuva 6).

- Navigointikaista, joka on aluksen käyttämä poikkileikkauksen osa.
- Alusvara, joka on alusten väliin kohtaamistilanteessa jäävä minimietäisyys
- Luiskavara (reunavara), joka on aluksen ja luiskan tai aluksen ja matalan väliin jätettävä varmuusetäisyys



Kuva 6: Väylän poikkileikkaus, yksikaistainen väylä (A) ja kaksikaistainen väylä (B)

Suomessa on pienten alustiheyksien takia osoitettu linjamerkein vain yksi väylälinja. Täten kaksikaistaisellakin väylällä navigoidaan normaalisti väylän keskellä ja vain kohtaamis- tai ohitustilanteessa siirrytään käyttämään kahta navigointikaistaa. Väylän leveyden määrittämisessä meillä yleensä on lähtökohtana yksikaistaisen väylän mitoitusleveys. Väyläaluetta levennetään väljillä vesialueilla tarpeen mukaan aina lähimpiin reunamataliin saakka, jolloin väyläleveys käytännössä vastaa myös kaksikaistaisen väylän leveystarvetta.

Navigointikaistan leveyttä määrättäessä on erotettava seuraavat tekijät:

- **Aluksen tahaton mutkailu.** Aluksen todellinen liikerata heilahtelee tahattomasti tavoitellun ajosuoran molemmin puolin (liite 4.1). Tarvittavat korjaukset ajolinjaan tehdään avomeripurjehduksessa kurssipoikkeaman perusteella (ruorimies tai autopilotti) ja väyläpurjehduksessa paikanmäärityksen osoittaessa poiketun väylälinjalta (esim. linja ”auki” tilanne). Tarkalla ohjauksella voidaan pienentää mutkailun suuruutta.
- **Sorto.** Tuulen, aallokon tai virtauksen vaikuttaessa ei alus liiku kölilinjansa osoittamaan suuntaan, vaan sortuu jonkin verran suojan puolelle. Aluksen pituussuunnan ja todellisen kulkusuunnan välistä kulmaa nimitetään sorroksi (liite 4.2).
- **Pohjan epätasaisuus.** Vesisyvyys vaihtelee yleensä luonnonväylillä, mikä aiheuttaa häiriöitä aluksen ohjautumiseen ja voi lisätä aluksen mutkailua.

- **Varaveden suuruus.** Aluksen kääntymissäde kasvaa varaveden pienentyessä. Seikka, joka on otettava huomioon kaarteiden suunnittelussa. Lisäksi pieni varavesi voi kasvat-
taa aluksen mutkailua etenkin, jos takaisinvirtausnopeus on suurehko.
- **Paikanmäärityksen epätarkkuus.** Paikanmäärityksen epätarkkuuden katsotaan yleensä
lisäävän vastaavalla määrällä navigointikaistan leveyttä.
- **Lastin vaarallisuus.** Navigointikaistaa levennetään, jos lasti on esitetyn luokituksen
perusteella vaarallista.

4.21 Yksikaistaisen suoran väylän leveys

Yksikaistaisen väylän leveys (B) voidaan määrätä seuraavasti:

B	= $b_n + 2b_l$
b_n	= $b + b_m + b_s + b_p + b_t + b_e + b_v$
b	= mitoitusaluksen leveys
b_n	= navigointikaistan leveys
b_l	= luiskavara/reunavara
b_m	= aluksen tahattoman mutkailun aiheuttama navigointikaistan leveneminen
b_s	= tuulen tai virtauksen aiheuttama navigointikaistan leveneminen
b_p	= pohjan epätasaisuudesta aiheutuva navigointikaistan leveneminen
b_t	= varaveden pienuudesta aiheutuva navigointikaistan leveneminen
b_e	= paikanmäärityksen epätarkkuus
b_v	= lastin vaarallisuudesta johtuva lisä

Mitoitusalus on normaalisti suurin täydessä lastissa väylää käyttävä alus. Väylän leveys voidaan myös tarkistaa poikkeukselliselle tilanteelle, jolloin vajaassa lastissa oleva ylisuuri alus käyttää väylää.

Tahaton mutkailu. Alukset mutkailevat väylänavigoinnissa aina (liite 4.1). Mutkailua voidaan kuitenkin pienentää tarkalla ohjauksella. Siten lyhyessä kapeikossa voidaan tarvittaessa tyytyä normaalia pienempään mutkailusta aiheutuvaan väylänlevennykseen.

PIANC:n ohjeeseen perustuen mutkailusta aiheutuvan väylänlevennyksen suuruutena käytetään arvoa $0,3b$, jos aluksen ohjattavuus on hyvä ja arvoa $0,5b$, jos aluksen ohjattavuus on keskinkertainen.

Lyhyessä väyläkapeikossa voidaan ruoppauskustannusten pienentämiseksi rajoittaa mutkailu tarvittaessa arvoon $b_m = 0,2b$.

Sorto. Tuulesta ja aallokosta aiheutuva sorto jää normaaleilla alusnopeuksilla (7,5... 10 m/s) pieneksi. Täydessä lastissa olevat massatavara-alukset eivät sorru merkittävästi normaaleilla nopeuksilla (6... 7,5 m/s). Sortokulmia 5° , 10° ja 15° vastaavat b_s :n arvot ovat likimäärin $0,5 b$, $1,0 b$ ja $1,5 b$. Aluksen nopeus on aina voitava pitää niin suurena, ettei sortokulma ylitä 15° , koska muutoin alus menettää hallittavuutensa.

Kuten jo kohdassa 1 on todettu, ovat virtaukset Suomen rannikkovesillä väylänsuunnittelun kannalta merkityksettömän pieniä Merenkurkun aluetta lukuun ottamatta. Siten väylänleveyttä määrättäessä voidaan virtausten vaikutus jättää meriväylillä huomiotta. Sisävesillä on vuolaat virtapaikat mallinnettava, mikäli väylä on tarkoitus johtaa sellaisen virtapaikan kautta.

Pohjan epätasaisuuden takia levennetään navigointikaistaa vain, jos vesisyvyys on pienempi kuin 1,5 x aluksen syväys. Levennyksen suuruus on seuraava:

- 0,1b, kun pohja on tasainen tai pehmyt (vesisyvyys alle 1,5 x aluksen syväys)
- 0,2b, kun pohja on epätasainen ja kova (vesisyvyys alle 1,5 x aluksen syväys)

Varaveden suuruuden perusteella määräytyvä navigointikaistan levennys on seuraava:

- 0,0b, kun vesisyvyys on vähintään 1,5 x aluksen syväys
- 0,2b, kun vesisyvyys on 1,5... 1,15 x aluksen syväys
- 0,4b, kun vesisyvyys on alle 1,15 x aluksen syväys

Paikanmäärityksen tarkkuus riippuu turvalaitteista. Paikanmäärityksen epätarkkuudesta johtuva navigointikaistan levennys on PIANC:n ohjeen mukaan seuraava:

- 0,0 b, jos väylän turvalaitteet ovat erinomaiset ja väylällä on liikenteen ohjaus (shore traffic control)
- 0,1 b, jos väylän turvalaitteet ovat hyvät
- 0,2 b, jos väylän turvalaitteet ovat keskinkertaiset ja näkyvyys väylällä on ajoittain heikko
- 0,5 b, jos väylän turvalaitteet ovat keskinkertaiset ja näkyvyys on väylällä usein huono

Suomen väylillä voidaan paikanmäärityksen epätarkkuudesta johtuvalle navigointikaistan levennykselle käyttää arvoa 0,1 b, sillä väylien turvalaitteet ovat poikkeuksetta hyvät.

Luiskavaran suuruus on 0,5 b, kun aluksen nopeus on enintään 5 m/s. Suurilla alusnopeuksilla (yli 5 m/s) saattaa 0,5 b reunavaralla vaikuttaa vedenalainenkin luiska ohjattavuuteen (bank effect). Ns. täydellä nopeudella (15 – 16 solmua) suositellaan luiskavaralle arvoa 1,0b. Kapeiden poikkileikkausten tulisi olla virtauksellisesti riittävän symmetrisiä, jotta takaisinvirtausten aiheuttamat häiriöt aluksen ohjautumiseen eivät lisääisi ohjausvaikeuksia.

Lastin vaarallisuuden takia navigointikaistaa levennetään seuraavasti:

- 0,0b, kun lastina on irtotavaraa, kuivabulkia, kontteja, trailereita, matkustajia yms.
- 0,4b, kun lastina on öljyä
- 0,8b, kun lastina on bensiiniä, kaasua tai kemikaaleja

Väyläleveyden määrittäminen yksikaistaiselle väylälle:

Merkinnät: b = aluksen leveys
 d = aluksen syväys
 t = vesisyvyys
 ϕ = sortokulma

$$B = b + b_m + b_s + b_p + b_t + b_e + b_v + 2b_l$$

- Alusleveys:		b
- Tahaton mutkailu:	erittäin suuret ruoppauskust. suuret ruoppauskustannukset	2x0,1b = 0,2 b 2x0,25b = 0,5 b
- Sorto:	$\phi = 0^\circ$, ideaaliolosuhteet tai lastatut bulk-alukset, kun $v = 5 \dots 7,5$ m/s	0
	$\phi = 5^\circ$, olosuhteet keskinkertaiset	0,5b
	$\phi = 10^\circ$ olosuhteet vaikeat	1,0b
	$\phi = 15^\circ$ olosuhteet poikkeuk- sellisen vaikeat	1,5b
- Pohjan epätasaisuus: ($t < 1,5d$)	pohja sileä tai pehmyt pohja epätasainen ja kova	0,1b 0,2b
- Varaveden suuruus:	vesisyvyys 1,15d-1,50d vesisyvyys alle 1,15d	0,2b 0,4b
- Paikanmääritys;	erinomaiset turvalaitteet hyvät turvalaitteet	0,0b 0,1b
- Lastin vaarallisuus	irtotavara, kuivabulk, yms. öljy bensiini, kaasu, kemikaalit	0,0b 0,4b 0,8b
- Luiskavara;	$v < 5,0$ m/s $v = 5,0 \dots 8,0$ m/s	0,5 b 0,5... 1,0 b

Tyyppiesimerkkejä:

B_{\min}	= $b + 0,2 b + 0 + 0,1b + 0,2b + 0,1b + 1,0b + 0 = 2,6b$ (erittäin suuret ruoppauskustannukset, sorto hyvin pieni, ruopattu (sileä) pohja, vesisyvyys 1,15d...1,5d, hyvät turvalaitteet, nopeus alle 10 solmua, ei vaarallista lastia)
B_{norm}	= $b + 0,5 b + 1,0 b + 0,2b + 0,2b + 0,1b + 1,0b + 0 = 4,0b$ (suuret ruoppauskustannukset, sorto enintään 10 astetta, epätasainen pohja, vesisyvyys 1,15d...1,5d, hyvät turvalaitteet, nopeus alle 10 solmua, ei vaarallista lastia)
B	= $b + 0,5 b + 1,0 b + 0,2b + 0,2b + 0,1b + 2,0b + 0 = 5,0b$ (Kuten edellä, paitsi aluksen nopeus 15...16 solmua; esim. aikatauluun sidottu, suuren tuulipinnan omaava alus, ruoppauskohde kaukana satamasta).

4.22 Kaksikaistaisen suoran väylän leveys

Kaksikaistaisen väylän leveys muodostuu seuraavasti:

B	= $2b_n + 2b_l + b_a$	b_n	= navigointikaistan leveys
		b_a	= alusvara
		b_l	= luiskavara

Navigointikaistan ja luiskavaran leveydet määrätään kaksikaistaisella väylällä kohdan 4.21 periaatteiden mukaisesti.

Alusvarana riittää pienillä nopeuksilla (2,5... 4 m/s) kohdattaessa alusleveys (1,0b). Nopeuden ollessa 4...6 m/s alusvaran tulee olla 1,4b.

Täydellä nopeudella 8... 10 m/s ajavien autolautojen on todettu kohtaavan noin 3b:n alusvaralla.

Suunnittelussa voidaan lähteä siitä, että alusnopeutta rajoitetaan kohtaamistilanteessa, jos väylän mitat sitä edellyttävät.

Väyläleveyden määrittäminen kaksikaistaiselle väylälle:

- Tahaton mutkailu:	suuret ruoppauskustannukset	Väylästä tehdään 1-kaistainen
- Sorto:	pienet ruoppauskustannukset $\phi = 0^\circ$, ideaaliolosuhteet tai lastatut bulk-alukset, kun $v = 5 \dots 7,5$ m/s $\phi = 5^\circ$, keskinkertaiset olosuhteet $\phi = 10^\circ$, vaikeat olosuhteet	$2 \times 0,25b = 0,5b$ 0 0,5b (ei kohdata)
- Luiskavara:	$v < 4$ m/s $v = 4 \dots 6$ m/s	0,5 b 0,5... 0,7 b
- Alusvara:	$v < 4$ m/s $v = 4 \dots 6$ m/s	1,0 b 1,4 b

Tyyppiesimerkki:

$B_{\min} = 2 (b + 0,5 b + 0,5 b + 0,2b + 0,2b + 0,1b + 0) + 2 \times 0,5b + 1,0 b = 7 b$ (ruopattu väylä, sorto enintään 5 astetta, $v < 4$ m/s, ei vaarallista lastia)

4.3 Vertailu kansainvälisiin suosituksiin

Suomen olosuhteisiin soveltuvia suosituksia väylänleveydelle on erittäin vähän, sillä väylän leveys on voimakkaasti riippuvainen mm. olosuhteista ja väylän merkinnästä. Lisäksi kansainvälisten ohjeiden käyttöä rajoittaa se, että liikennemäärät Suomen väylillä ovat kansainvälisesti katsoen vähäisiä.

Ruotsalaiset ovat rakentaneet kapeita väyliä (mm. Luulaja, Gävle, Torshamn ja Göta-joki) ja merkinneet ne tehokkaasti. Niinpä näiden väylien perusteella tehty suositus väyläleveydelle antaa pienimmät arvot väylän leveydelle.

	Vesitie	Minimileveys		Aluskoko	Olosuhteet
		1-kaistainen	2-kaistainen		
Ruotsi	Ruopattu väylä	3b	5b	<100 000 dwt	Sorto $\leq 4^\circ$
	Luonnon väylä	3b	6b	<100 000 dwt	" $\leq 4^\circ$
	Väylä x)	5b	-	>100 000 dwt	" $\leq 4^\circ$
	Käytävä xx)	0,5...5 mpk	0,5..5 mpk	Ei rajoituksia	
PIANC/ ICORELS	Väylä	3...4b	6...7b	<100 000 dwt	Ei sortoa
	Väylä	5b		100 000dwt... 300 000 dwt	Ei sortoa

Eo. Suositukset koskevat meriväyliä ja niitä sisävesiväyliä, joita käyttävät normaalit merialukset.

x) Väylät, joita käyttävät suuret alukset

xx) Käytävä on avoimella ulapalla oleva väylä, jonka rajat on osoitettu merikartalla (ruots. "Korridor", engl. "Traffic separation scheme").

Taulukko 6: Kansainvälisiä suosituksia väylänleveydelle.

Väylä	b _{max} (m)	B _{min} (m)	D (m)	d (m)	B _{min} /b _{max}	Huomautuksia
Sköldvik	40	270	17,0	15,3	6,8	Suojainen
Rauma	25	120	12,0	10	4,8	suojainen
Kokkola	35	200	15,6	13	5,7	Melko avoin
Oulu	25	100	11,0	10,0	4,0	Suojainen
Vaasa	25	100	10,5	9,0	4,0	Melko suojainen
Prästskär	32	150	9,5	8,0	4,7	v=7,5..10 m/s
Kustaanmiekka	25	80	10,7	9,6	3,2	Melko avoin
Vuosaaren väylä	33	150	13,0	11,0	4,5	yleissuunnitelma
Veitsiluoto	22	80	8,2	7,0	3,6	Melko suojainen
Tornio	23	92	9,2	8,0	4,0	suojainen
Tahkoluoto	40	200	17,7	15,3	5,0	avoin
Parainen	20	55	8,5	7,5	2,8	suojainen
Saimaan syväväylä	11	45	4,8	4,2	4,1	Suojainen
Luulaja	40	120	12,1	11,4	3,0	Suojainen
Gävle	28	60	11,2	10,5	2,1	Suojainen
Mälaren	16,5	60	5,5		3,6	Suojainen
St. Lawrence	23	69	8,6	7,9	3	Suojainen
Brofjorden	60	270	40		4,5	Portti, suojainen

Taulukko 7: Toteutettujen väylien mittoja

B_{min} = väylän pienin leveys,
b_{max} = suurimman aluksen leveys,
D = vesisyvyys,
d = aluksen syväys

4.4 Väylän leveys kaarteessa

Navigointikaistan leventämistarve on kaarteessa varsin pieni, jos käännöksen aloitus osuu oikealle kohdalle ja peräsinkulma on sopiva (kuva 10). Aluksen paikan tarkistaminen kaarroksen kestäessä on usein kuitenkin vaikeaa. Siten kaarroksen onnistuminen voidaan todeta vasta käännöksen lopussa. Lisäksi on muistettava, että kaarroksen aloituskohta vaihtelee väylän poikkisuunnassa navigointikaistan leveyden verran ja väylän pituussuunnassa epämääräisen mitan riippuen siitä, miten kaarteeseen aloituskohta onnistutaan linjan pituussuunnassa määräämään esimerkiksi väylän sivulla olevien kohteiden perusteella. Mikäli tilantarve kaarteessa pyritään ruoppausten välttämiseksi saamaan mahdollisimman pieneksi, on harkittava seuraavia toimenpiteitä:

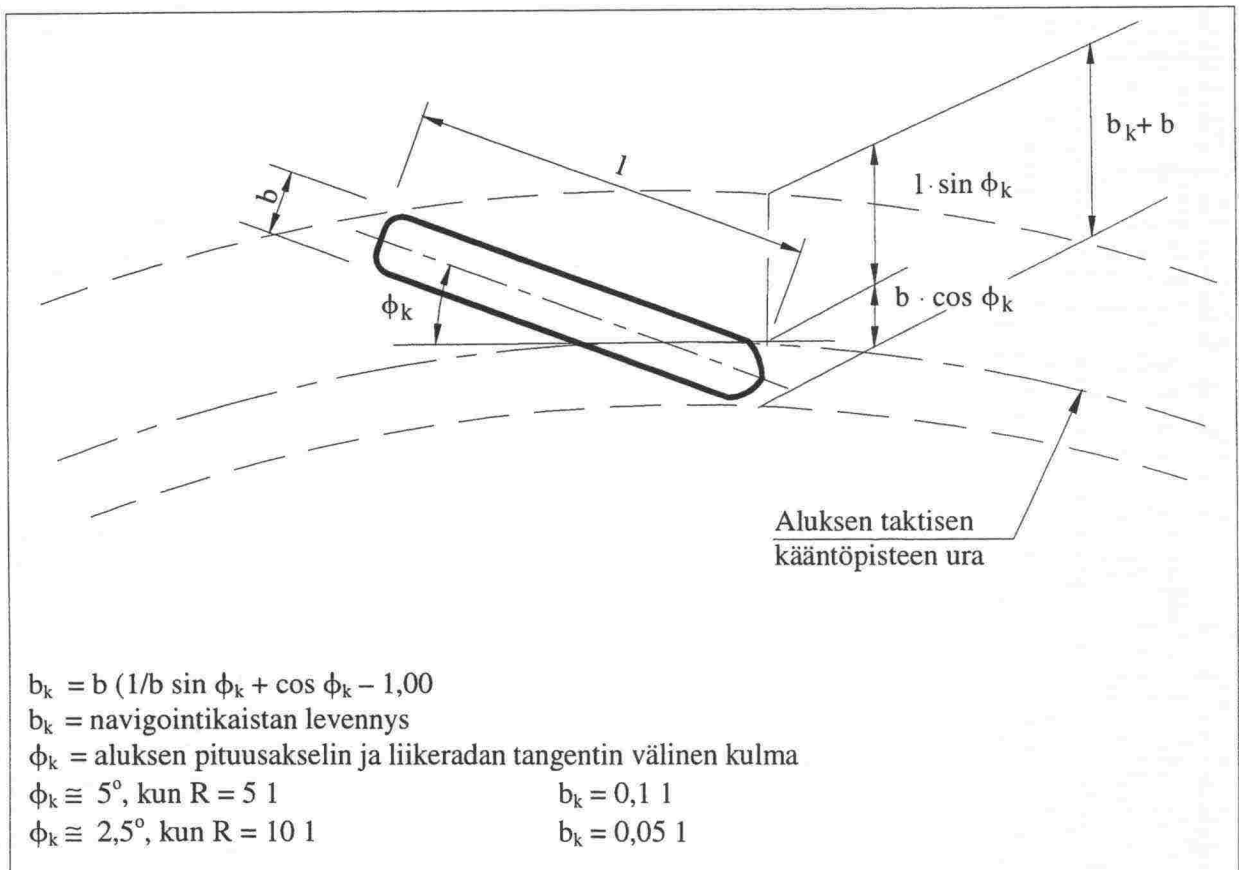
Aluksen paikanmääritys kaarteeseen aloituskohdassa tulisi saada mahdollisimman tarkaksi väylälinjaan nähden.

Osoitettava kaarteeseen aloituspiste (reunamerkintä, poikkilinja tms.) tai mahdollistettava etäisyyden määrääminen väylälinjan jatkeelta tutkan avulla. (Tutkan mittaustarkkuus on noin 20...30 m).

Jyrkissä kaarteissa on väylän kulku osoitettava reunamerkinnällä, jos täyssyvä väyläalue on kapea

Osoitettava tarkasti väylän paikka kaarteeseen lopussa (tehokas reunamerkintä), jos alkava väylä on kapea.

Silloin, kun aluksen paikka väylän suhteen on tarkistettavissa kaarroksen aikana, voidaan tarvittava navigointikaistan leventäminen määrätä kaavasta (kuva 7).



Kuva 7: Sorto kaarteessa

Näin laskettu levennyksen arvo on teoreettinen minimi, jota olosuhteiden mukaan pyritään aina suurentamaan.

Kaarrelevennyksen sijoittamisesta sekä ulko- että sisäkaarteeseen on olemassa ehdotuksia. Parhaana ratkaisuna voidaan pitää levennyksen sijoittamista kokonaan sisäkaarteeseen puolelle, koska tällöin aluksen ajolinja saadaan kaarteessa loivemmaksi, ja riski käännöksen menemisestä pitkäksi pienenee.

Kaksikaistaisen väylän leveys kaarteissa voidaan teoreettisesti määrätä samoja periaatteita noudattaen kuin suoralla väyläosalla.

On kuitenkin epätodennäköistä, että kaksi maksimialusta kohtaisi kaarteessa, sillä kohtamiseen liittyy aina vaaratekijöitä, jotka moninkertaistuvat kaarrekohtaamisessa. Siten kaarteiden leventäminen ruoppaamalla maksimialusten kohtaamista varten ei ole mielekäästä.

4.5 Väylän ulkoalueet ja selkävesialueet

Väyläleveyden maksimiarvot tulevat sovellettaviksi silloin, kun matalikot, vesialueen muu käyttö tai muut syyt eivät rajoita väyläleveyttä. Käytännössä ko. arvot tulevat kyseeseen lähinnä syvillä selkävesialueilla sekä rannikon tuloväylien ulkopäässä.

Väyläalueen määrittelyssä on väyläleveyden maksimiarvoille annettu laivaväylien osalta seuraavat suositukset (Väyläalueen ja väylätilan määrittely, MKL:n yleisohje 1995):

- yksikaistainen väylä	10 – 25 x alusleveys
- kaksikaistainen väylä	20 – 50 x alusleveys
- avomerellä väylän uloimmalla osuudella	0,5 – 3,0 km

Avomeren tulokäytävän tarvittavaan leveyteen vaikuttaa mm. alueelle ominaiset jääolosuhteet. Tulokäytävä on yleensä muodoltaan suppilomainen ja kapenee lähestyttäessä väylän suuta.

4.6 Odotusalueet

Odotusaluetta suunniteltaessa hahmotellaan aluksi odotusaluetta käyttävien alusten todelliset liikkeet ja niiden perusteella määritetään sitten alueen muoto ja koko. Jos odotusalueelle ankkuroitu alus voi kiertyä tuulen mukana 180 astetta, silloin odotusalue mitoitetaan ympyränä, jonka läpimitta on 1,8...2,0 x aluksen pituus.

Mikäli kustannus- tai muista syistä odotusalueen koko on minimoitava, silloin on alueen koko ja muoto määritettävä simuloimalla.

5. VÄYLÄN SYVYYS

5.1 Yleistä

Väylän tarpeellinen vesisyvyys riippuu mitoittavan aluksen syvyydestä ja nopeudesta, paikallisista aallokko-olosuhteista sekä väyläpoikkileikkauksen koosta suhteessa aluspoikkileikkaukseen. Alueilla, joissa aallokko on pientä suhteessa aluksen mittoihin, voidaan tarpeellinen vesisyvyys määrittää riittävän tarkasti laskennallisesti. Sen sijaan aallokosta aiheutuvien aluksen heilahtelujen määrittämiseksi ei ole onnistuttu kehittämään väylän mitoittamiseen soveltuvia laskentamenetelmiä. Varaveden tarve on tällaisessa kohdin arvioitava kokemuksen perusteella. Aluksen todellisen painuman mittaaminen on myös mahdollista aluksen ollessa liikkeessä väylällä.

Suomessa väylälle vahvistetaan kulkusyvyys, joka ilmoittaa suurimman sallitun alussyvyyden väylällä. Aluksen erilaatuiset painumat sekä kölivara sisällytetään kokonaisvaraveteen.

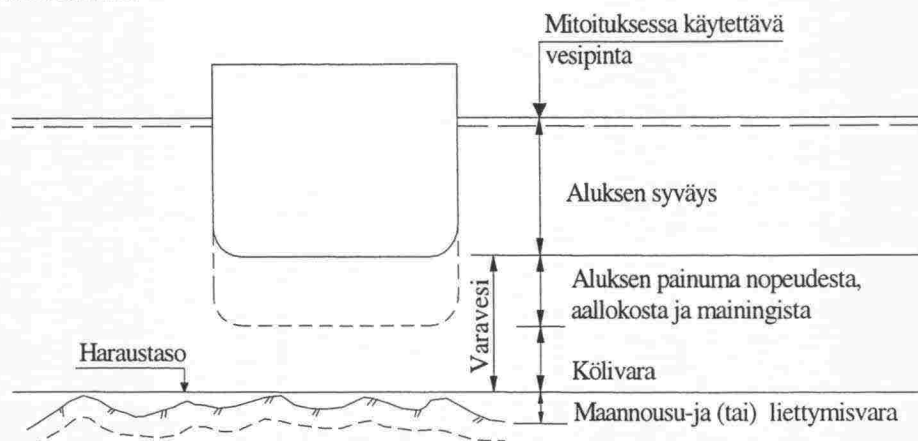
Kansainvälisesti on kuitenkin yleisempää, että väylästä ilmoitetaan vain haraussyvyys, ja väylän käyttäjä päättää sen, mihin syvyyteen alus lastataan. Tällöin aluksen päällikkö arvioi tapauskohtaisesti aluksen nopeuspainuman, mahdollisen painuman aallokosta sekä tarvittavan kölivaran.

Kulkusyvyys ja haraussyvyys mitataan ja ilmoitetaan merellä keskivedestä ja sisävesillä purjehduskauden alivedestä. Tällöin on otettava huomioon, että virallisissa julkaisuissa ilmoitettu aluksen syväys on yleensä mitattu suolaisessa merivedessä.

Väylän tarpeellinen vesisyvyys muodostuu seuraavista tekijöistä (kuva 8):

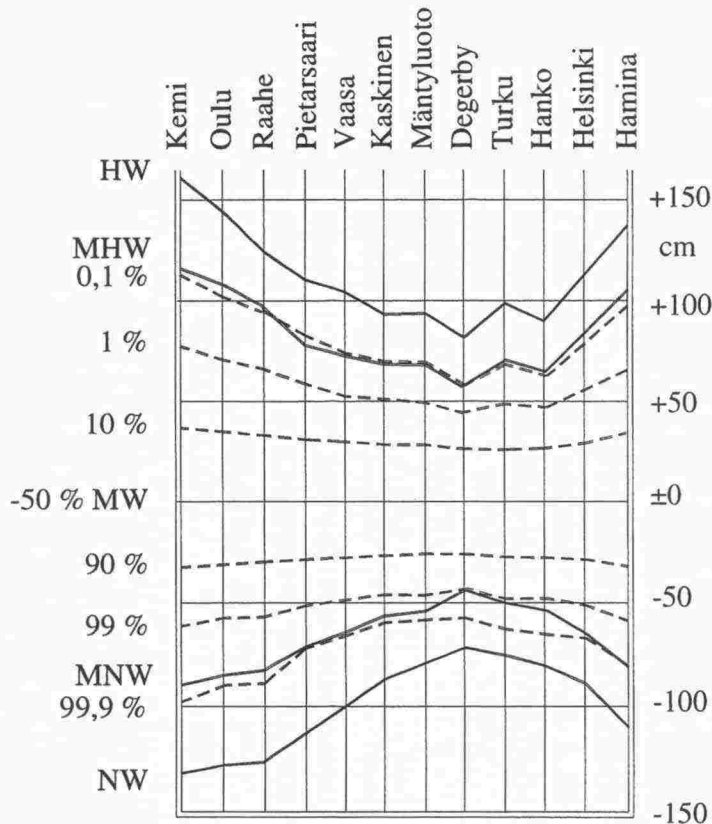
- Mitoituksessa käytettävä vedenkorkeustaso
- Aluksen syväys (veden suolapitoisuuden vaikutus otettava tarpeen mukaan huomioon)
- Aluksen nopeudesta aiheutuva painauma. Kohta 5.2
- Aallokon aiheuttamat aluksen heilahtelut. Kohta 5.3
- Aluksen mahdollinen kallistuminen kaarteissa. Määrätään tapauskohtaisesti.
- Tarpeellinen kölivara. Kohta 5.4
- Mahdollinen liettymis- ja/tai maannousuvara. Kohta 5.5

Varavedentarve on voimakkaasti riippuvainen aluksen nopeudesta suhteessa vesisyvyyteen ja poikkileikkauksen väljyyteen sekä avoimilla alueilla lisäksi aallokon suuruudesta suhteessa alusmittoihin.



Kuva 8: Väylän syvyyden määräytyminen

Kuva 9: Vedenkorkeuden pysyvyys Suomen rannikolla



5.2 Aluksen nopeuspainuma (squat)

Aluksen liike synnyttää vastakkaissuuntaisen virtauksen aluksen ympärille. Virtausnopeudesta aiheutuu puolestaan vedenpinnan lasku. Aluksen nopeuspainuma aiheutuu ensisijaisesti vedenpinnan painumasta, mutta lisäksi siihen vaikuttavat aluksen pitkittäiskaltevuus sekä potkurivirtauksen aiheuttamat muutokset virtausnopeuksissa ja -paineissa perän alueella.

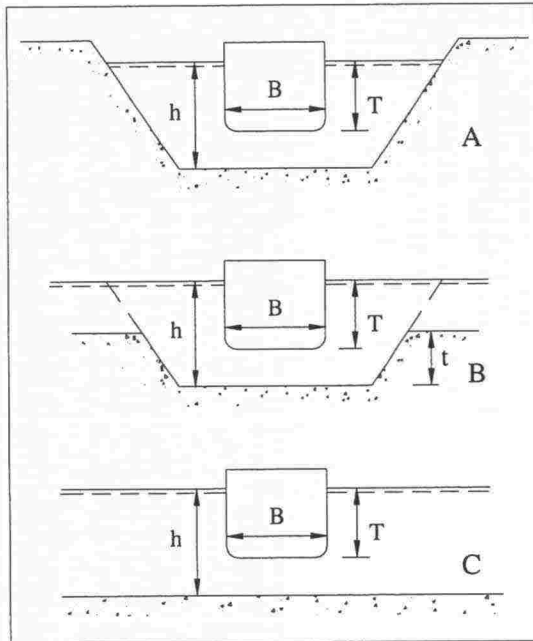
Alukset ovat squat-käyttäytymisessään persoonallisia, sillä täyteläisillä aluksilla on squat suurimmillaan keulassa, kun taas hoikkaarunkoisilla aluksilla perä painuu syvimmälle. Squatilla tarkoitetaan painuman suurinta arvoa, joka siis aluksesta riippuen esiintyy joko perässä tai keulassa.

Nopeuspainuman määrittämisessä voidaan erottaa seuraavat kolme perustapausta poikkeikkaustyyppin perusteella (kuva 10):

- Tyyppi A: Kanava tai kapea salmi
- Tyyppi B: Ruopattu väylä
- Tyyppi C: Luonnon väylä tai erillinen matala

Em. tapauksissa squat voidaan määrätä Gulievin laatiman käyrästä avulla (kuva 10), mikäli Frouden luku (Frouden luku on alusnopeuden ja aallon etenemisnopeuden suhde) on riittävän pieni.

SQUAT (Guliev'in menetelmä)



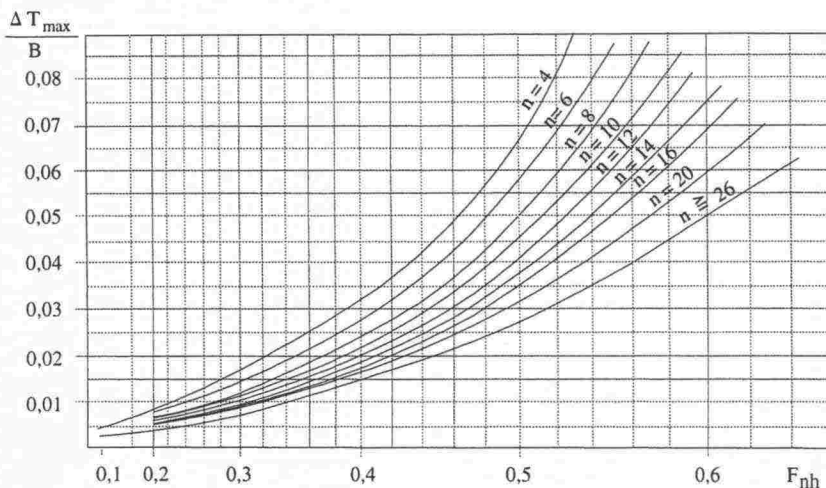
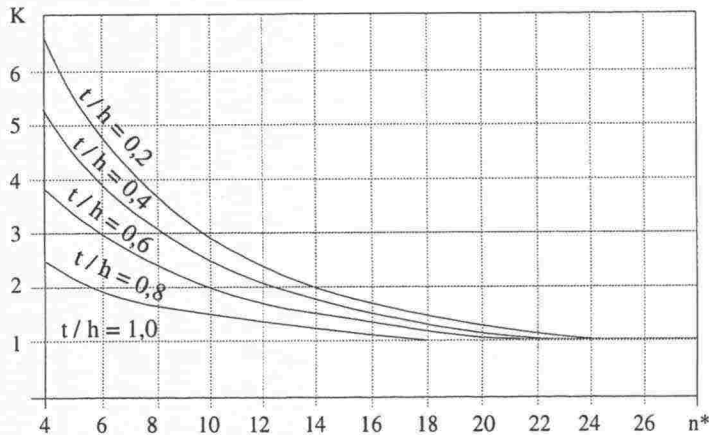
Aluksen nopeudesta aiheutuva painuma (squat) voidaan määrittää käyrästöstä, jonka Guliev on laatinut mallikokeiden perusteella. Käyrästöstä squat saadaan kahden muuttujan (F_{nh} , n) avulla, ja nämä muuttujat lasketaan erilaisille väyläpoikkileikkauksille seuraavasti:

Poikkileikkaus A: $F_{nh} = v / \sqrt{g \cdot h}$; $n = \frac{A_k}{A_a}$

Poikkileikkaus B: $F_{nh} = v / \sqrt{g \cdot h}$; $n = K \cdot n^*$; $n^* = \frac{A_k^*}{A_a}$

Poikkileikkaus C: $F_{nh} = v / \sqrt{g \cdot h}$; $n \geq 26$

- h = vesisyvyys, m
- t = luiskan korkeus, m
- B = aluksen leveys, m
- T = aluksen syvyys, m
- v = aluksen nopeus, m/s
- g = maan vetovoiman kiihtyvyys
- A_k = vesipoikkileikkausala, m^2
- A_k^* = vesipoikkileikkausala, kun luiskien oletetaan jatkuvan vesipintaan saakka, m^2
- A_a = aluksen poikkileikkausala, m^2
= $0,98 \cdot B \cdot T$
- K = kerroin, joka saadaan oheisesta käyrästöstä
- F_{nh} = Frouden syvyysluku
- ΔT_{max} = squat, m
- L_a = aluksen pituus, m
- C_B = uppouman täyteläisyysaste



Menetelmän rajoitukset

(mallikokeissa tutkittujen alusten ja väylätyyppien mukaan) aluskohtaiset :
 $0,60 \leq C_B \leq 0,80$; $C_B \text{ med} = 0,71$
 $2,19 \leq B/T \leq 3,50$; $(B/T) \text{ med} = 2,55$
 $5,50 \leq L_a/B \leq 8,50$; $(L_a/B) \text{ med} = 6,89$
väyläkohtaiset :
 $1,23 \leq h/T \leq 4,55$

Kuva 10: Squat Guliev'in menetelmän mukaan

Aluksen painuma tasasyvässä vedessä (poikkileikkaustyyppi C) määritetään yleisimmin seuraavasta kaavasta (Huuska – ICORELS):

$$\Delta T_{\max} = C_o \frac{C_B \cdot b \cdot t}{l_{pp}} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}}$$

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 (ks. alusmittataulukot, liite 1.1)

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

t = aluksen syväys

b = aluksen leveys

Frouden luku $F_{nh} = v / \sqrt{g \cdot h}$

v = alusnopeus

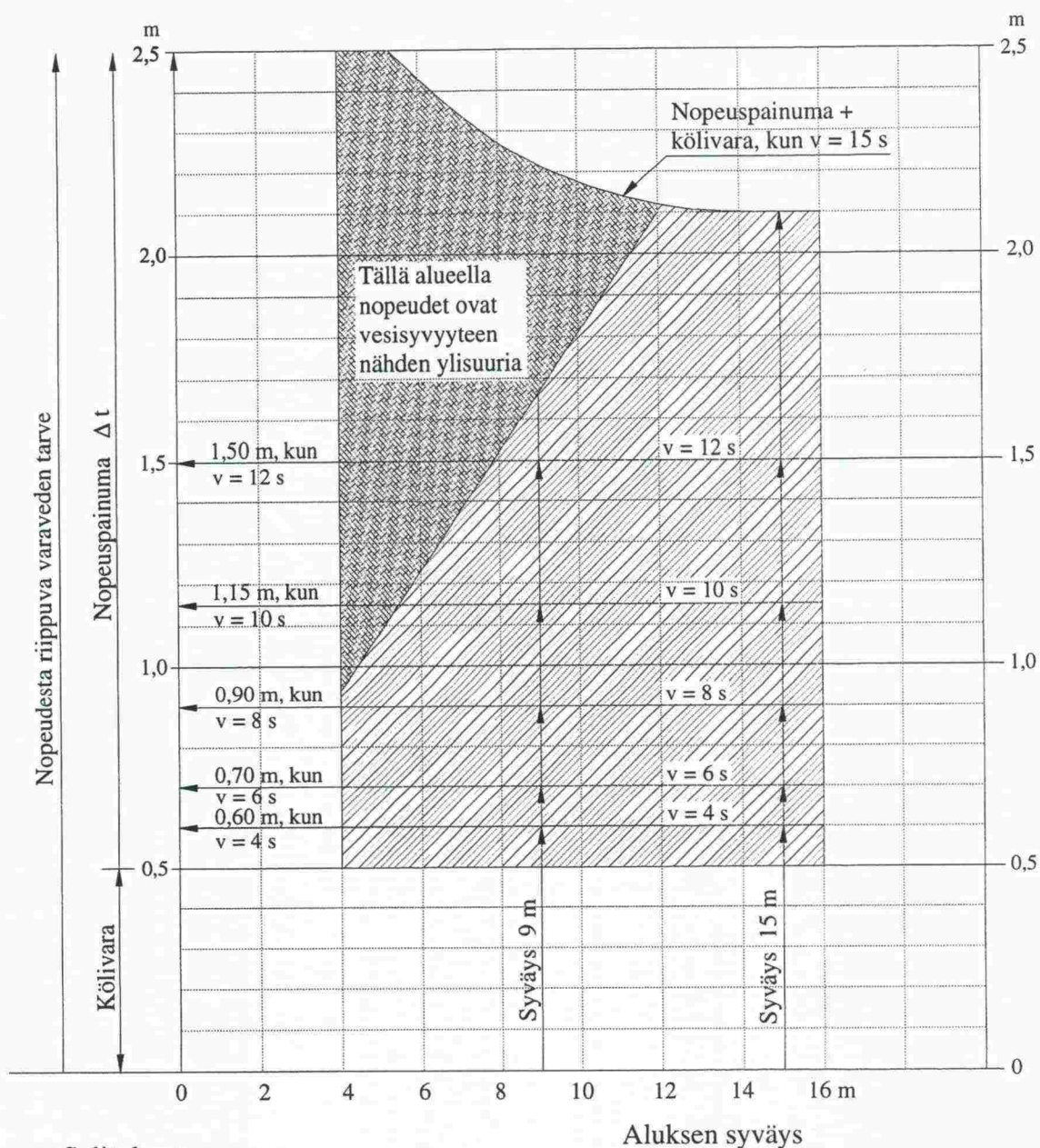
h = vesisyvyys ja $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Kaavasta nähdään, että tietyllä aluksella squatin suuruus riippuu yksinomaan Frouden luvusta. Kaavasta voi myös päätellä, että Frouden luvun ylittäessä 0,5, squat alkaa kasvaa voimakkaasti. Kuvassa 11 on esitetty em. kaavalla laskettuja normaalimuotoisten alusten nopeuspainuman arvoja 0,5 m kölivaralla ja nopeuksilla 4, 6, 8, 10, 12 ja 15 solmua.

Kuvassa 12 on esitetty Frouden luvun riippuvuus nopeudesta ja vesisyvyydestä. Kuvan perusteella voidaan seuloa esiin squatin kannalta kriittiset väyläkohdat ($F_{nh} = 0,5 \dots 0,9$). Yleensä kauppa-alusten konetehto ei riitä ylläpitämään sellaista nopeutta, että Frouden luku olisi yli 0,7. Käytännössä kuitenkin suuret Frouden luvun arvot ($F_{nh} = 0,7 \dots 1,0$) ovat mahdollisia silloin, kun alus tulee täydellä vauhdilla syvästä vedestä matalikon päälle. Tällaisessa tilanteessa kasvaa squat luonnollisesti voimakkaasti ja pohjakosketusvaara on olemassa.

Squat in määräämiseksi erillisen matalan kohdalla voidaan käyttää em. kaavaa, sillä mallikokeilla on todettu, että jo matala, jonka pituus väylän suunnassa on 0,3 x aluspituus (harjanne), aiheuttaa likipitään täyden painuman. Liitteessä 5.1 on m/t Naturalin mitattuja keulan ja perän painumia, kun alus kulkee ruopattujen matalikoiden yli Torvskärin kohteella Utö – Naantali väylällä (liite 5.2). M/t Naturalille em. kaavalla laskettu painuma 10 solmun nopeudella on noin 0,70 m ja mitattu painuma noin 0,40 m ruoppauskohteella 3, jonka koko on noin 100 m x 400 m.

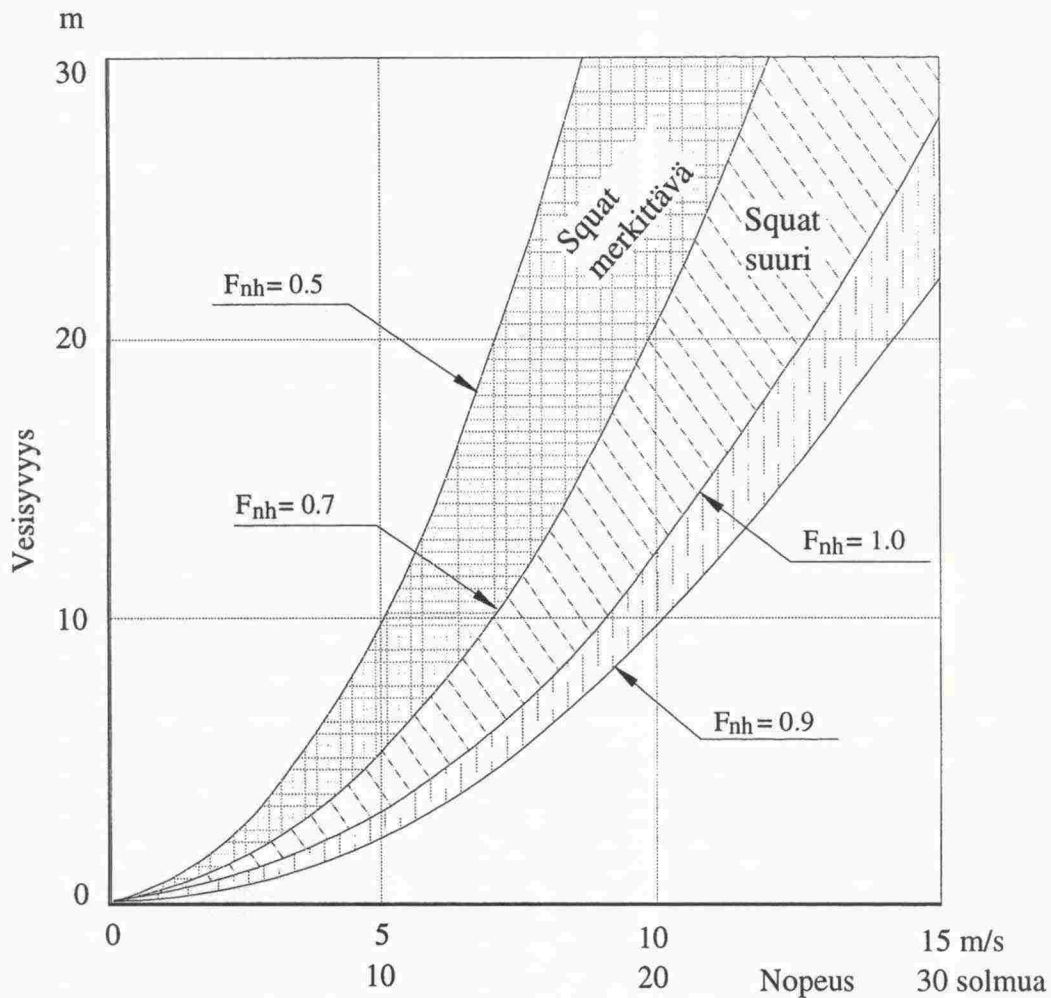
Esimerkkinä mainittakoon, että 9 m/s nopeudella ajava autolautta sai mallikokeissa pohjakosketuksia, kun vesisyvyys kynnyksen kohdalla oli 1,5-kertainen aluksen syväyteen verrattuna (aluksen syväys 5,8 m, vesisyvyys kynnyksen kohdalla -8,7 m ja muualla -17 m.



Selitykset:

- nopeuspainuma laskettu Huuska/ICORELS kaavalla
- väylän vesipoikkileikkauksen tulee olla väljä suhteessa aluksen poikkileikkaukseen (pintaleveys vähintään 10 x aluksen leveys)
- nopeuspainumaan ei sisälly aallokon vaikutusta (aallokko ei heiluttele alusta)
- vesisyvyys $h = t + \Delta t + 0,5$ m, missä
 - t = aluksen syväys
 - Δt = nopeuspainuma
 - 0,5 m = kölivara
- v = aluksen nopeus solmuissa
- C_0 = aluksen muotokerroin
- C_B = uppouman täyteläisyyskerroin
- b = aluksen leveys
- l_{pp} = aluksen vesiviivan pituus

Kuva 11: Nopeudesta riippuva varaveden tarve meriväylillä normaalimuotoisilla aluksilla ($C_B = 0.75$, $C_0 = 2.0$, $b/l_{pp} = 0.16$) Aluksen syväys 4...16 m ja nopeus 4, 6, 8, 10, 12 tai 15 solmua.



Kuva 12: Squatin suuruuden arviointi aluksen nopeuden ja vesisyvyyden perusteella

Yhteenvetona voidaan todeta että, jos aluksen nopeus on sama kynnyksmäisen matalikon kohdalla kuin tasasyvässä vedessä, niin squat ei kehity kynnyksmäisen matalikon kohdalla suuremmaksi kuin tasasyvässä vedessä. Kynnyksmäinen matalikko (= jyrkkä reuna tulosuuntaan) voi olla kuitenkin vaarallinen, koska siinä ei aluksen nopeus ehdi hidastua suurentuneen kulkuvastuksen tasolle, vaan aluksella voi olla poikkileikkauksen mittoihin nähden ylinopeutta. Molemmissa tapauksissa voidaan kuitenkin käyttää samoja laskumenetelmiä. Tällöin squatille saadaan kynnyksmäisen matalikon kohdalla ”varmalla puolella” oleva tulos tasasyvän veden squatiin verrattuna. M/t Naturan painumamittausten perusteella laskennalliset arvot näyttäisivät olevan jopa reilusti varmalla puolella.

Merenkululaitoksessa on laadittu numeeriset laskentaohjelmat, joilla sadaan määritettyä nopeuspainuma alusnopeuden funktiona Huuska-ICORELS-kaavoihin tai Gulievin menetelmään (C- ja B-poikkileikkaukset) perustuen.

5.3 Aallokosta aiheutuva aluksen painuma

Aallokosta aiheutuvat aluksen liikkeet riippuvat mm. aallokon ja aluksen mitoista sekä aallokon etenemissuunnan ja aluksen kulkusuunnan välisestä kulmasta. Lukuisista yrityksistä huolimatta aluksen aallokosta aiheutuvien liikkeiden määrittämiseksi ei ole pystytty kehittämään riittävän tarkkaa laskentamenetelmää. Kaikki tähänastiset yritykset ovat tuottaneet menetelmiä, joilla tarvittava varavesi tulee paljon suuremmaksi kuin mitä nykyinen käytäntö vaatii.

Lastissa olevan m/t Naturan perän ja keulan liikkeitä mitattiin aallokossa Utön ulkopuolella. Aluksen ottaessa luotsia sen nopeus oli noin 4,6 solmua, ja 231 m pitkän aluksen maksimiheilahtelu oli noin 0,7 m aallokossa, jonka korkeus oli aaltopojun rekisteröimänä maksimissaan 3,9 m. M/t Naturan heilahtelut vaimenivat voimakkaasti aluksen lähestyessä Utötä. Utön kohdalla heilahtelut olivat enää noin 0,2...0,3 m. Mikäli aallokko heiluttelee alusta ja varavesi pyritään tällaisessa tilanteessa minimoimaan, on aluksen todellinen painuma määritettävä kulun aikana mittaamalla. Kokemuksesta kuitenkin tiedetään, ettei käytössä olleilla varaveden arvoilla ole ollut avoimilla väylien suuosillakaan pohjakosketuksia, joten käytetyt varaveden arvot ovat varmallalla puolella. Tyypillisiä väylän suosan varaveden arvoja ovat mm.:

Väylä	Kulkusyvyys	Kokonaisvaravesi avomerén tuntumassa
Kemin Ajoksen väylä	10 m	2,0 m
Raahen väylä	8 m	1,5 m
Kokkolan 13 m väylä	13 m	2,6 m
Pietarsaaren väylä	9 m	1,5 m
Porin Mäntyluodon väylä	10 m	2,0 m
Rauman Rihtniemen väylä	10,0 m	2,0 m
Rauman Valkeakaran väylä	7,0 m	1,1 m
Sköldvikin väylä	15,3 m	2,2 m

Aluksen painuma tietyn suuruudesta aallokosta pienenee, kun aluksen mitat kasvavat. Siten yllä mainittuihin varavedenarvoihin nojautuen voidaan perustellusti päätellä, että Suomen rannikolla noin 1,5 m suuruinen kokonaisveden arvo on yleisesti ottaen riittävä väylien avoimilla suuosilla aluksen syvyyden ollessa vähintään 7 m. Aluksen nopeus tulee olla myös sopeutettu olosuhteisiin (squat).

5.4 Kõlivara

Jotta alus voisi säilyttää ohjattavuutensa sekä, jotta pohjakosketuksilta vältyttäisiin on kõlin alla kaikissa tilanteissa oltava tietty jäännõsvaravesi (= kõlivara). Useilla meriväylillä kõlivaran suuruudeksi on otettu 0,5 m. Sisävesillä, missä kokonaisvaravesi on 0,6 m, on kõlivaran suuruus noin 0,3 m silloin, kun alus liikkuu suurimmalla sallitulla nopeudella.

Torshamnin sataman tuloväylällä on käytetty kõlivarana 0,5 metriä, alusnopeus on enintään 5 solmua, ja väylän pohjalla on kalliota.

Saksan satamien tuloväylillä käytetään mitoituksessa erittäin pieniä kölivaran arvoja; noin 3... 5 % aluksen syväyksestä alusnopeudella 4,5... 5,5 m/s.

Rotterdamın sataman tuloväylällä on käytetty kölivaran arvoa 0,5 m.

Kölivarana esitetään normaalitilanteessa käytettäväksi seuraavia arvoja:

- sisävesiväylät 0,3 m
- meriväylät 0,5 m

Kölivaraan sisällytetään myös väylän harausvyydyden varmistamisessa käytetyille mittausmenetelmille ominaiset satunnaiset epätarkkuudet.

5.5 Liettymis- ja maannousuvara

Liettyminen on Suomen väylillä yleisesti ottaen varsin vähäistä. Kuitenkin niillä väylillä ja sellaisilla alueilla, joilla liettymistä on todettu tai arvioidaan tapahtuvan, on liettymisvara syytä ottaa huomioon väylän harausvyydyttä määrättäessä.

Maan kohoaminen on merkittävä, hitaasti väyliä mataloittava tekijä etenkin Pohjanlahden alueella.

5.6 Kansainvälisiä suosituksia varavedelle

	Vesitie	Maksimi nopeus M/s	Minimi-varavesi % syväydestä	Minimi-varavesi M	Aluskoko	Olosuhteet
Ruotsi	Väylä	2,5	8	0,7	Kaikki	Suojainen
	"	4,0	10	0,9	Kaikki	Suojainen
	Käytävä	-	ei voida määrittää	ei voida määrittää	L ≤ 225 m	Avoin meri
	Käytävä	-	25	2,5	L > 225 m	Avoin meri
PIANC	Väylä	ei määritetty	7	-	VLCC x)	Suojainen
	Väylä	"	10	-	"	Pientä maininkia
	Väylä	"	15	-	"	Voimakasta maininkia
	Käytävä	"	20	-	"	Avoin meri

- X) VLCC = Very Large Cargo Carrier
 = bulk-alus, jonka kantavuus $\geq 200\ 000$ dwt
 = konttialus, jonka pituus ≥ 250 m
 = LNG- (nesteytetty kaasu-) alus, jonka kapasiteetti $\geq 125\ 000$ m³

Taulukko 8. Varavesisuosituksia

6. VÄYLÄN MERKINTÄ

6.1 Yleistä

Merkinnällä osoitetaan väylän käyttäjille väylätila, liikenteen kannalta vaaralliset karit sekä yleensä myös väylän keskilinja. Mitä kapeampi on väylä, sitä tehokkaampi on oltava merkinnän, jotta alusta voitaisiin ohjata riittävällä tarkkuudella (vrt. 4.2).

Navigoinnin kannalta ei ole oleellista merkitystä sillä, onko merkintäsysteminä lateraalivai kardinaalijärjestelmä; toisin sanoen käykö merkistä ilmi, miltä puolelta se on ohitettava, vai onko merkki pidettävä tietyssä ilmansuunnassa. Olennaista on se, että merkki pystytään tunnistamaan ja selvittämään sen sijainti merikartalla. Kapeissa ja mutkaisissa paikoissa, joissa navigoijalla ei ole aikaa viedä aluksen paikkaa merikartalle, on merkinnän oltava niin selvä ja havainnollinen, että päätökset voidaan tehdä suoraan visuaalisten ja/tai tutkavaintojen perusteella.

Onnettomuustilastot ja analyysit osoittavat, että väylän kapeus tai mutkaisuus ei ole ensisijaisena syynä karilleajoihin, vaan kysymyksessä on yleensä väylältä eksyminen. Täten turvalaitteita tehostamalla voidaan tehokkaimmin ehkäistä karilleajoja. Eniten karilleajoja ja pohjakosketuksia sattuu juuri syksyllä, jolloin näkyvyysolosuhteet ovat heikot, ja paikanmääritys aluksilla siten vaikeaa (liite 6.1). Vesien jäätyessä onnettomuuskäyrä kääntyy laskuun, koska alukset kulkevat osin avattuja jäärännejä pitkin. Tällöin ovat myös heikoimmin varustetut alukset poissa liikenteestä. Lievä nousu onnettomuusluvussa keväällä saattaa johtua osittain räntäsateiden aiheuttamasta arvaamattomasta näkyvyyden heikkenemisestä ja siitä, että kevätjäiden liikkeessä voivat kelluvat turvalaitteet olla ajoittain näkymättömissä.

Suomessa johti kehitys olosuhteiden pakosta linjamerkintään perustuvaan paikantamiseen, koska väylää ei pystytty merkitsemään jäissä kestäville reunamerkeillä. Maalle rakennetut linjamerkit olivat aikaisemmin ainoita luotettavia merenkulun turvalaitteita. Väylän reunojen merkintä oli tilapäisten ja epäluotettavien puuviittojen varassa. Nykyisin väylän merkinnässä voidaan käyttää sekä linja- että reunamerkintää.

Väylän turvalaitteiden tulee täyttää seuraavat merenkulun asettamat vaatimukset:

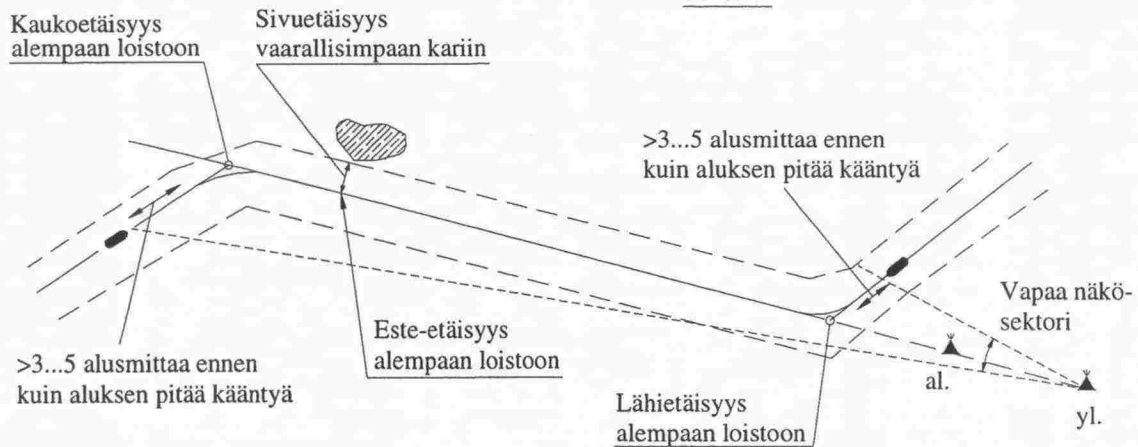
- Merkit eivät saa siirtyä paikoiltaan. Siten veteen tulevat kiinteät merkit tehdään jääkuormia kestäviksi ja poijuja ja viittoja käytetään vain alueilla, missä ne pysyvät tuotettavasti paikoillaan.
- Merkkien tulee olla erotettavissa ja tunnistettavissa sekä visuaalisesti että tutkalla riittävän kaukaa kaikissa navigointiolosuhteissa.

Merkinnän tulisi lisäksi olla systemaattista ja yhdenmukaista sekä havainnollista kaikilla väylillä.

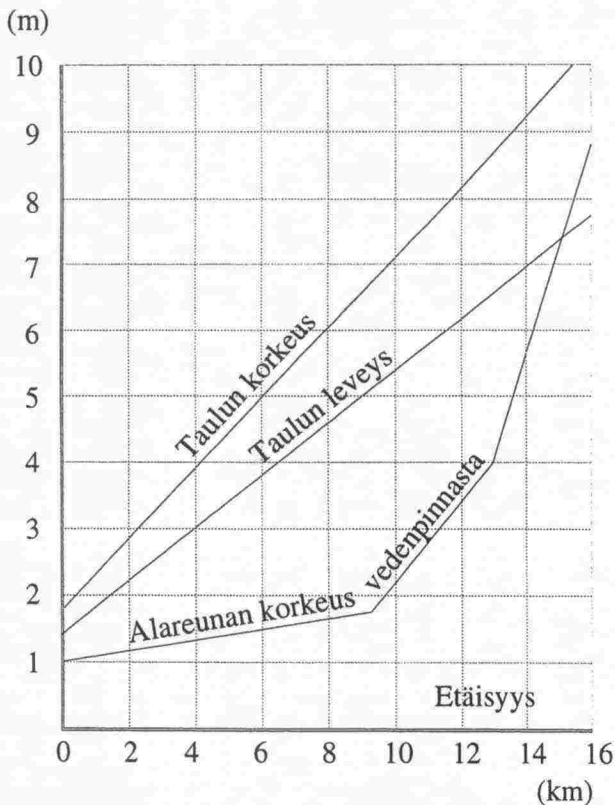
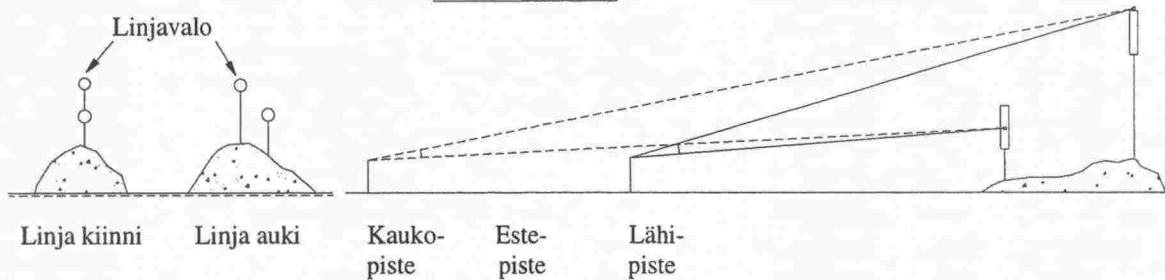
Väyläkohtaisina merkkeinä käytetään seuraavia turvalaitteita:

- Linjamerkit (linjataulut ja -valot)
- Kiinteät väylänreunamerkit
- Kelluvat väylänreunamerkit (poijut ja viitat)
- Majakat ja loistot

Kartta



Pituusleikkaus



LINJATAULUJEN KOKO

Linjataulujen mitat määrätään oheisen piirroksen perusteella, jolloin etäisyydet etu- ja takatauluun mitataan linjan kaukopisteestä.

Linjan päästä katsottuna molempien taulujen tulee näkyä kokonaan. Linjan lähipisteestä katsottaessa alataulu saa osittain peittää ylätaulun, mutta vähintään 2/3 -osaa tai 3 m ylätaulusta on kuitenkin jätävä näkyviin.

Lisäksi on huomioitava mm. seuraavaa:

- Yli 12 km pituisia mitoitusetäisyyksiä on syytä välttää, koska linjamerkkien näkyminen on tällöin hyvin epävarmaa.
- Taulujen alareunan korkeus maanpinnasta tulee olla vähintään 1 m ja etuvalon korkeus vähintään 3,5 m.
- Takavallo sijoitetaan 0,5 m taulun yläreunan yläpuolelle.
- Yli 30 m korkeita mastorakenteita ei yleensä käytetä

Kuva 13: Linjamerkintä

6.2 Linjamerkintä

Linjamerkeillä osoitetaan yleensä väylälinjan sijainti (kuva 13). Vaikeasti navigoitavissa kohdissa ja vilkkaasti liikennöidyillä väylillä pyritään linjamerkit rakentamaan väylän molempiin päihin. Linjamerkkien käyttökelpoisuutta heikentää se, että sijaitessaan havaitisijasta kaukana, ne eivät useinkaan näy sumun, sateen tms. syyn takia. Myöskään maalle rakennettuina linjamerkit eivät näy tutkakuvassa. Näistä syistä navigointi ei voi perustua yksinomaan linjamerkintään.

Linjataulun koko suurenee katseluetäisyyden mukaan (kuva 13). Taulun näkyvyys on heikoin vastavaloon katsottaessa. Tällöin näkyy parhaiten taulu, joka on tehty esim. läpivärväytystä muovilevystä, joka päästää hiukan valoa lävitseen. Huonoissa näkyvyysolosuhteissa erottuu puolestaan parhaiten taulu, joka on päällystetty taustan väreistä poikkeavalla päiväloistekalvolla tai maalilla.

Päiväloistekalvojen ja maalien käyttöä rajoittaa kuitenkin loisteominaisuuksien lyhyt kestoikä (5 – 10 v) ja suhteellisen korkea hinta.

Linjamerkkien sijoittelussa tulisi ottaa huomioon mm. seuraavat seikat:

- Linjamerkit on pyrittävä rakentamaan kustannussyistä maalle, ellei veteen rakentamisella voida oleellisesti parantaa linjan näkyvyyttä.
- Yli 12 km pituisiin näköetäisyyksiin ei juuri kannata investoida, koska tällaisten linjamerkkien näkyvyys on erittäin rajoitettu.
- Mikäli linja merkitään vain toisesta päästä, on merkit pyrittävä sijoittamaan linjan pohjoisen puoleiseen päähän, jotta vastavaloon navigointi jäisi vähäiseksi.
- Linjamerkkien näkyvyyttä heikentävät taustan savut, valot yms.
- Linjamerkinnässä voidaan erikoistilanteissa käyttää myös päiväloistoja, jolloin taulurakenteita ei yleensä lainkaan tarvita, tai erityisen kapean ja tarkan sektorin näyttäviä sektoriloistoja (tapauksissa, joissa linjamerkkiparin rakentaminen ei ole mahdollista).

Linjamerkinnän toiminnallista suunnittelua ja geometrinen arvojen määrittämistä on selvitetty tarkemmin merenkulkulaitoksen ohjeessa Linjalaskennan perusteet, johon perustuen on laadittu myös vastaava laskentaohjelma Windows-ympäristöön. Linjamerkeistä, reunamerkkien ylärakenteista, poijuista ja viitoista on lisäksi laadittu tyyppipiirustukset.

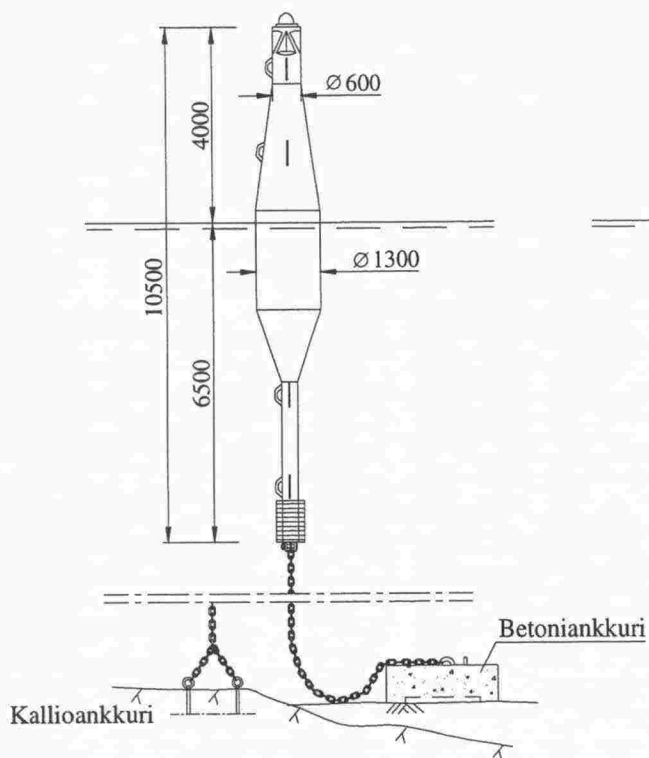
6.3 Reunamerkintä

Vaikeimmissa navigointiolosuhteissa aluksen ohjailu tapahtuu joko kokonaan tai suurimmaksi osaksi väylän reunamerkkien avulla. Täten reunamerkkien tulee näkyä sekä visuaalisesti että tutkakuvassa.

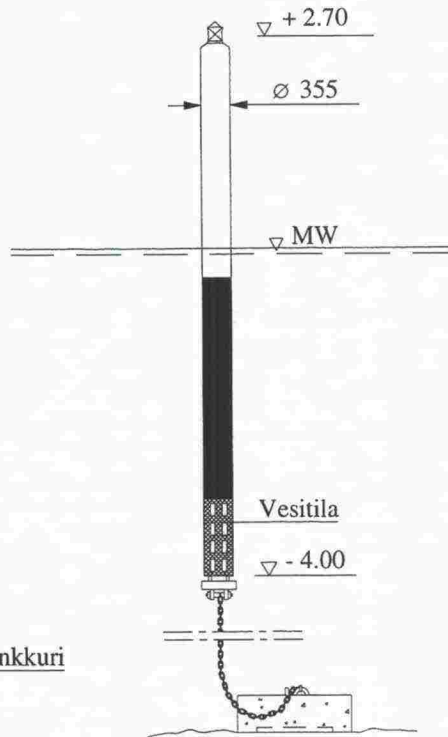
Reunamerkkien välimatkan tulee olla suhteessa väylän leveyteen, kaarteisiin sekä niihin olosuhteisiin, joissa väylää käytetään. Merkit tulee pyrkiä sijoittamaan kapeilla väyläosilla pareittain väylän molemmille puolille, sillä portti on väylällä tehokkain optinen johdattaja.

Reunamerkkien tulee olla liikkuvan jään alueella kiinteitä, koska kelluvat merkit painuvat jäiden liikkeessä upoksiin, vaurioituvat sekä siirtyvät paikoiltaan.

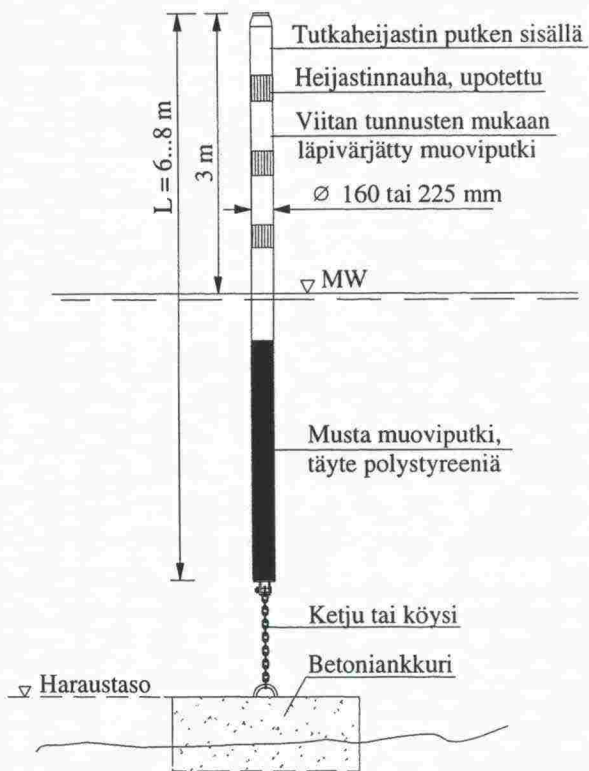
Poijut tulevat lähinnä kysymykseen alueilla, missä jäät eivät sanottavasti liiku kuten saaristossa ja sisävesillä. Poijut on aina pyrittävä ankkuroimaan niin lujasti pohjaan, etteivät ne siirry



Kuva 14: Jääpoiju



Kuva 15: Muovipoiju



Kuva 16: Muoviviitta

jäänmuodostuksen tai –lähdon aikanakaan paikoiltaan. Luotettavin poijun kiinnitystapa on kallioankkurointi (kuva 14).

Sisävesiväylien merkintään on kehitetty muoviputkirunkoinen poiju. (kuva 15). Poijun rungon muodostaa polyeteeniputki, jonka sisään on sijoitettu paristot ja tutkaheijastin. Poijun valolaitteen on kestettävä mm. nippulauttojen aiheuttamat iskut.

Viitat ovat nykyisin lähes yksinomaan muoviputkiviittoja, joiden sisään on asennettu tutkaheijastin (kuva 16). Muoviviitat näkyvät kirkkaiden ja kestävien värien ansiosta hyvin sekä pysyvät myös varsin hyvin paikoillaan. Puuviittoja käytetään enää vain paikoissa, joissa viitta vaurioituu lähes joka vuosi.

Kiinteän reunamerkin tulee olla lähellä väylän reunaa. Sopiva etäisyys kiinteästä merkistä väylän reunaan on $(0,5...1,0) \times$ mitoitusaluksen leveys. Etäisyys ei ilman erityistä syytä saa ylittää 50 metriä. Kelluvat reunamerkit sijoitetaan aina väylän reunaan.

Reunamerkinissä noudatetaan ns. viitasta viittaan sääntöä, jolla tarkoitetaan sitä, että kahden perättäisen, samaan väylälinjaan kuuluvan ja samatunnuksisen poijun tai viitan yhdysuoran väylänpuolelle ei saa jäädä haraustason yläpuolelle ulottuvaa aluetta.

6.4 Majakat

Majakat ovat erittäin kalliita turvalaitteita. Tämän takia majakoita rakennetaan vain tärkeimpien väylien suulle, millä varmistetaan, että avomereltä tuleva alus löytää väylän aloituskohdan kaikissa olosuhteissa. Majakka on rakennettava siten reunamerkin tapaan aivan väylän varteen.

6.5 Merkintäesimerkkejä

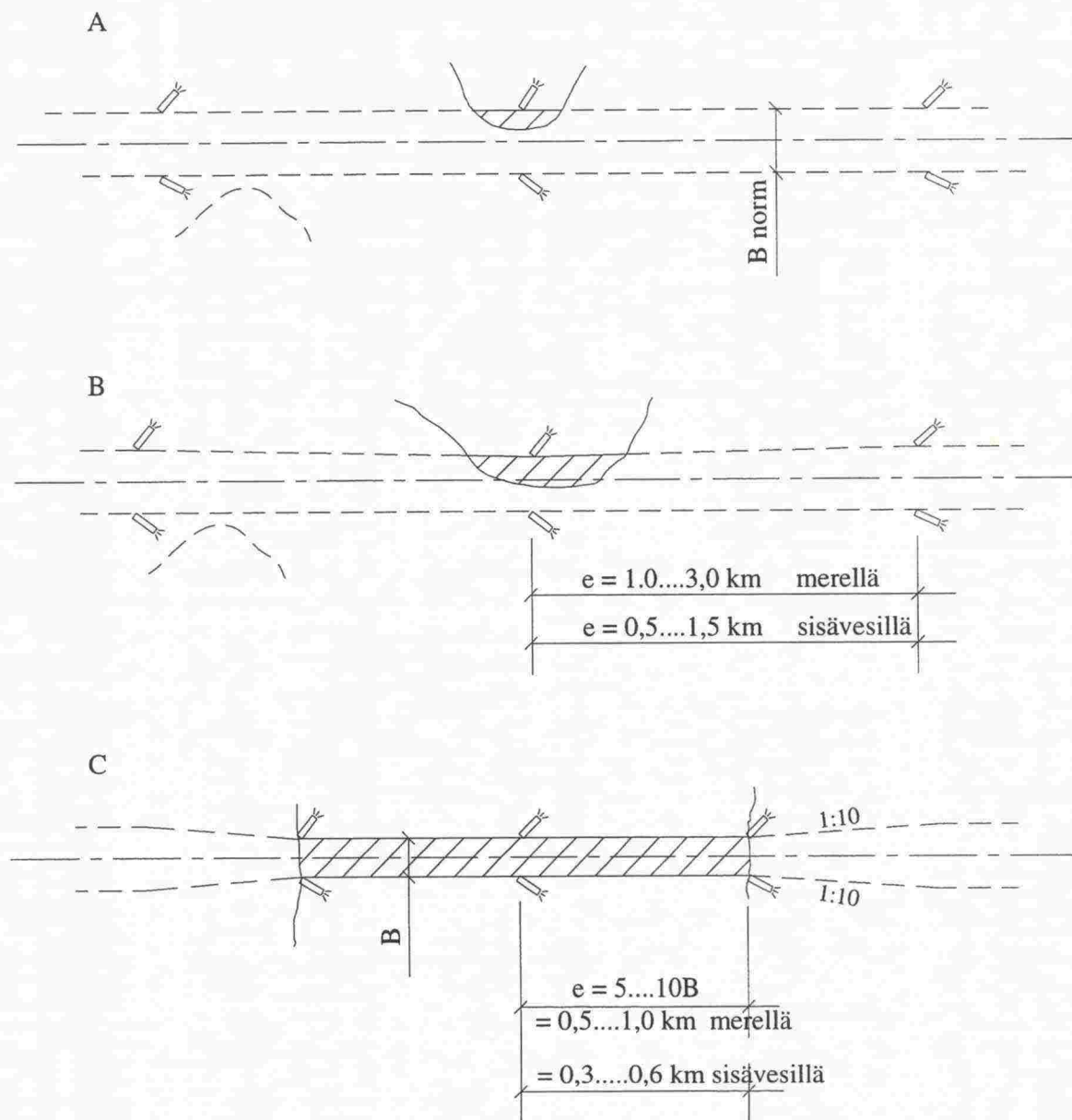
Kansainvälinen käytäntö väylämerkinnässä on vilkkaasti liikennöidyillä väylillä muotoutunut seuraavaksi (liite 6.2):

- Väylälinja (tai –linjat) merkitään tauluilla ja valoilla
- Väylän reunat poijutetaan lisäksi 1...3 km:n välein olevilla poijupareilla. Poijupuorttien väli riippuu ensisijaisesti väylän leveydestä
- Mikäli väylälinjaa ei ole merkitty, on poijujen etäisyys yleensä suoralla väylällä 1... 1,5 km.

Rannikkoväylillämme, missä liikenteen vähäisyyden takia kohtaamistilanteita tulee harvemmin ja olosuhteet väylien ulko-osilla vaikeuttavat kelluvien turvalaitteiden käyttöä, on reunamerkintä usein epäsäännöllisempää, jolloin vaarallisten karien merkintä tulee tärkeäksi.

Kuvassa 17 on ehdotus suoran väylän merkinnästä. Tapauksessa a on ruoppaus niin pieni, ettei väylää tarvitse kaventaa. Tapauksessa b on väylää kavennettu toispuoleisesti ruoppauskustannuksen pienentämiseksi (merkintää mahdollisesti tehostettava) ja tapauksessa c on väylän leveys suurten ruoppauskustannusten takia puristettu minimiin, jolloin merkintää on tehostettava.

Reunamerkinän tarve kaarteessa riippuu kääntymiskulman suuruudesta, täyssyvän vesialueen laajuudesta, väylän leveydestä sekä ruoppauskuvion muodosta (kuva 18).



Selitykset:



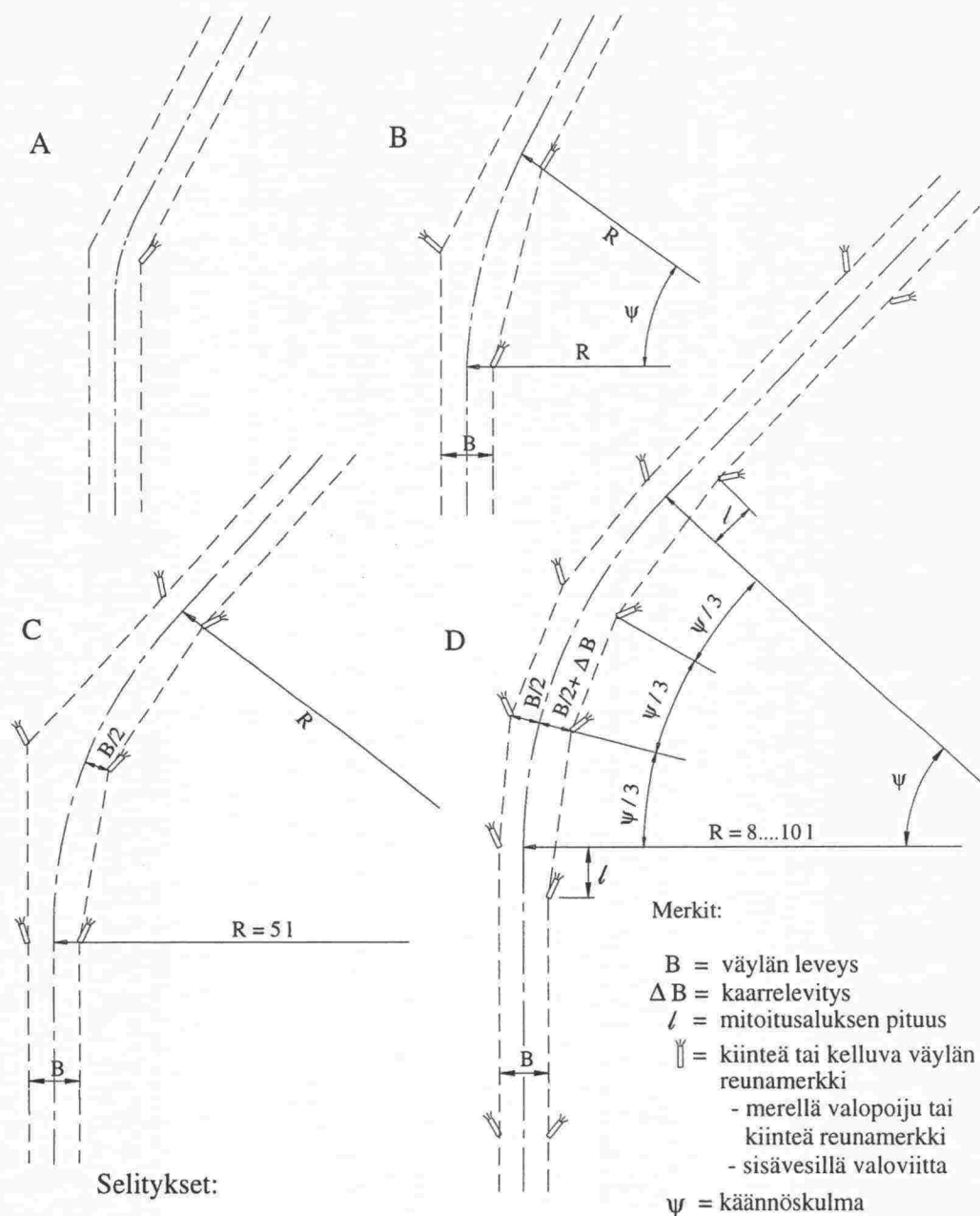
- = Kiinteä tai kelluva reunamerkki
 - merellä valopoiju, poiju tai kiinteä reunamerkki
 - sisävesillä valoviitta tai viitta



= Ruopattu alue

- A) = Ruoppaus vähäinen, väylä tasaleveä
 B) = Ruoppaus merkittävä, väylää kavennettava
 C) = Ruoppaus suuri, väylän leveys minimissä
 tehostettu merkintä

Kuva 17: Suoran väylän merkintä



Kuva 18: Kaarteen muotoilu ja merkintä

Kuvassa 18 esitetty tapaus a tulee kysymykseen, kun kaarrealueella on runsaasti täyssyvää vesialuetta. Väylällä ei ole tällöin tarkasti määriteltyä leveyttä. Reunamerkki osoittaa kääntöpisteen. Tapauksessa b on matalaa sekä sisä- että ulkokaarten puolella, mutta pienen kääntymiskulman ansiosta kaarrealue jää lyhyeksi. Tapauksessa c on melko jyrkkä käännös ruopatulla tai kapeikkoalueella. Suhteellisen runsaalla merkinnällä on havainnollisuuden lisäksi pyritty pienentämään myös ruoppausaluetta. Tapaus d on vastaava kuin tapaus c, mutta ruoppauskustannusten edelleen pienentämiseksi on väylän ulkonurkka jätetty väyläalueen ulkopuolelle, koska alukset eivät voi kuitenkaan käyttää sitä.

Liitteessä 6.3 on esimerkki kapean väylän merkinnästä. Väylää ovat käyttäneet ilman hinaaja-avustusta tyhjänä ja vajaassa lastissa alukset, joiden leveys on jopa 0,5 x väylän leveys. Väylän kapeuden takia merkintä on normaalia runsaampi ja monipuolisempi.

7. SILTA-AUKOT

7.1 Yleistä

Vesiteitä ylittävät sillat tulee pyrkiä tekemään kiinteinä, sillä avattava silta on haitta sekä maa- että vesiliikenteelle. Lisäksi avattavan sillan vuotuiset käyttökustannukset ovat merkittävästi suuremmat kuin kiinteän sillan.

Kiinteän sillan jänteet tulevat joko luonnostaan tai ovat suhteellisen pienin lisäkustannuksien tehtävissä niin pitkiksi, että vesiliikenteen vaatimukset aukkoleveydelle tulevat täytetyiksi. Avattavan sillan kustannukset kasvavat sen sijaan niin voimakkaasti aukkoleveyden mukana, että avattavien siltojen vapaat aukot pyrkivät jäämään liian pieniksi jo rakentamisajan kohdan vesiliikenteelle. Täten ajan mukana aluskoon kasvaessa avattavat sillat ovat muodostuneet vesiliikenteen kehitystä haittaavaksi tekijäksi.

Siltojen alikulkukorkeudet määräytyvät paikallisten vesiliikenneolojen perusteella. Kohdassa 2.2 on esitetty karkea jaottelu siltojen vapaalle korkeudelle väylän kulkusyvyiden mukaan.

7.2 Silta-aukon leveys

Silta-aukko on pyrittävä tekemään niin leveäksi, ettei se kavenna väylän tai kanavan mitoitusleveyttä. Nippu-uittoväylien ja -kanavien kohdalla em. vaatimus on ehdoton. Alusliikenteen osalta on mahdollista kaventaa vesiteitä sillan kohdalla seuraavasti:

- Vesitie tehdään paikallisesti yksikaistaiseksi. Silta-aukon vapaa leveys määrätään tällöin samoin kuin yksikaistaisen väylän tai kanavan leveys vastaavissa olosuhteissa. Sisävesillä suojaisessa paikassa voidaan sallia aukkoleveys 2 x alusleveys ilman laivajohteita. Sillan ja maaliikenteen turvallisuus saattaa kuitenkin vaatia törmäyssuojien rakentamista laiva-aukon viereisiin virtapilareihin. Niillä estetään sillan vaurioituminen aluksen mahdollisesti törmätessä pilareihin.
- Mikäli vesiteitä joudutaan kaventamaan enemmän kuin yksikaistaisen väylän kannalta on mahdollista, on silta-aukko varustettava laivajohteilla. Johteiden vapaa väli tulisi olla vähintään 1,5 x alusleveys.

Alus pääsee luonnollisesti kapeammankin aukon läpi, mutta tällöin aluksen on käytettävä pientä nopeutta, joka pidentää läpimenoaikaa ja aiheuttaa avattavilla silloilla tarpeetonta odotusta maaliikenteelle. Kapeissa silta-aukoissa tarvitaan myös yleensä pitkät laivajohteet verrattuna leveään aukkoon.

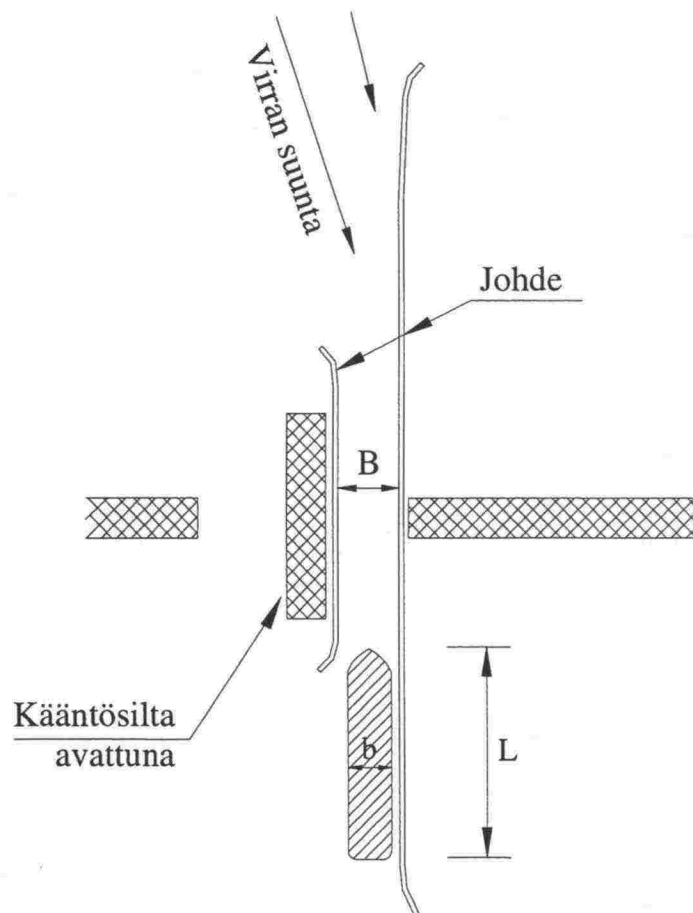
7.3 Johteiden sijoittelu

Kapeaan silta-aukkoon tullessaan alus joutuu pienentämään nopeutta ja joissakin tapauksissa jopa odottamaan sillan avautumista. Tällöin alus menettää ohjattavuuttaan ja saattaa ajautua virran, tuulen tms. vaikutuksesta pois väylältä. Johteet tulee tehdä niin pitkiksi, että alus voi kiinnittyä tai tukeutua niihin (kuva 19). Johteen pitkä osa tulee sijoittaa virtauksen tai määrävän tuulen alapuolelle.

Navigointia silta-aukkoon helpottaa, jos väylä on suora silta-aukon molemmin puolin sekä hyvin merkitty ja valaistu.

Johderakenteen tulee olla vettä läpäisevä, koska umpiseinä aiheuttaa voimakkaan imun aluksen ja johteen välille.

Myös avattavan sillan virtapilarit ja siltakellarit tulee suunnitella niin, että alukseen kohdistuvat imuvaikutukset ovat silta-aukossa väylän keskilinjan suhteen symmetrisiä.



Kuva 19: Johdejärjestelyt avattavan sillan kohdalla

LÄHDEKIRJALLISUUTTA:

- Approach Channels/ A Guide for Design (PIANC 1997)
- Laivaväylien suunnitteluohjeet (TVH 1980)
- Väyläalueen ja väylätilan määrittely/ yleisohje (MKL 1995, ISBN 951 – 49 – 0906 –2)
- Veneväylien suunnitteluohjeet (MKH 1995, ISBN 951 – 0905 – 4)
- Väylänavigointi (MKL/ Timo Rekonen 1998, Väylänsuunnittelukoulutus, jakso 1)
- Turvalaitteiden suunnittelu (MKL/ Timo Rekonen 1998, Väylänsuunnittelukoulutus, jakso 2)
- Linjalaskennan perusteet (MKL/ Rolf Bäckström 30.11.1998)
- Merenkulun turvalaitteet Suomen vesillä (MKH/Väyläosasto, Rolf Bäckström 1995)

TYYPILLISIÄ MITTOJA

Kantavuus dwt	Uppouma t	Kokonais- pituus m	Vesiviivan pituus m	Leveys m	Syväys m	Uppouman täyteläi- syysaste
Tankkialukset						
175.000	217.000	300.0	285.0	52.5	17.7	0.82
150.000	186.000	285.0	270.0	49.5	16.9	0.82
126.000	156.000	270.0	255.0	46.5	16.0	0.82
100.000	125.000	250.0	236.0	43.0	15.1	0.82
80.000	102.000	235.0	223.0	40.0	14.0	0.82
70.000	90.000	225.0	213.0	38.0	13.5	0.82
60.000	78.000	217.0	206.0	36.0	13.0	0.81
Tuote- ja kemikaalitankkialukset						
50.000	66.000	210.0	200.0	32.2	12.6	0.81
40.000	54.000	200.0	190.0	30.0	11.8	0.80
30.000	42.000	188.0	178.0	28.0	10.8	0.78
20.000	29.000	174.0	165.0	24.5	9.8	0.73
10.000	15.000	145.0	137.0	19.0	7.8	0.74
5.000	8.000	110.0	104.0	15.0	7.0	0.73
3.000	4.900	90.0	85.0	13.0	6.0	0.74
Bulk-alkuset/OBO-alkuset						
200.000	236.000	315.0	300.0	48.5	19.0	0.85
150.000	179.000	290.0	276.0	44.0	17.5	0.84
125.000	150.000	275.0	262.0	41.5	16.5	0.84
100.000	121.000	255.0	242.0	39.0	15.3	0.84
80.000	98.000	240.0	228.0	36.5	14.0	0.84
60.000	74.000	220.0	210.0	33.5	12.8	0.82
40.000	50.000	195.0	185.0	29.0	11.5	0.80
20.000	26.000	160.0	152.0	23.5	9.3	0.78
10.000	13.000	130.0	124.0	18.0	7.5	0.78
Konttialukset (Panamax)						
60.000	83.000	290.0	275.0	32.2	13.2	0.71
55.000	75.500	278.0	264.0	32.2	12.8	0.69
50.000	68.000	267.0	253.0	32.2	12.5	0.67
45.000	61.000	255.0	242.0	32.2	12.2	0.64
40.000	54.000	237.0	225.0	32.2	11.7	0.64
35.000	47.500	222.0	211.0	32.2	11.1	0.63
30.000	40.500	210.0	200.0	30.0	10.7	0.63
25.000	33.500	195.0	185.0	28.5	10.1	0.63
20.000	27.000	174.0	165.0	26.2	9.2	0.68
15.000	20.000	152.0	144.0	23.7	8.5	0.69
10.000	13.500	130.0	124.0	21.2	7.3	0.70
Ro-Ro alukset						
50.000	87.500	287.0	273.0	32.2	12.4	0.80
45.000	81.000	275.0	261.0	32.2	12.0	0.80
40.000	72.000	260.0	247.0	32.2	11.4	0.79
35.000	63.000	245.0	233.0	32.2	10.8	0.78
30.000	54.000	231.0	219.0	32.0	10.2	0.75
25.000	45.000	216.0	205.0	31.0	9.6	0.75
20.000	36.000	197.0	187.0	28.6	9.1	0.75
15.000	27.500	177.0	168.0	26.2	8.4	0.74
10.000	18.400	153.0	145.0	23.4	7.4	0.73
5.000	9.500	121.0	115.0	19.3	6.0	0.71

Alusten päämittoja (osa 1)

Approach Channels/A Guide for Desing, PIANC 1997)

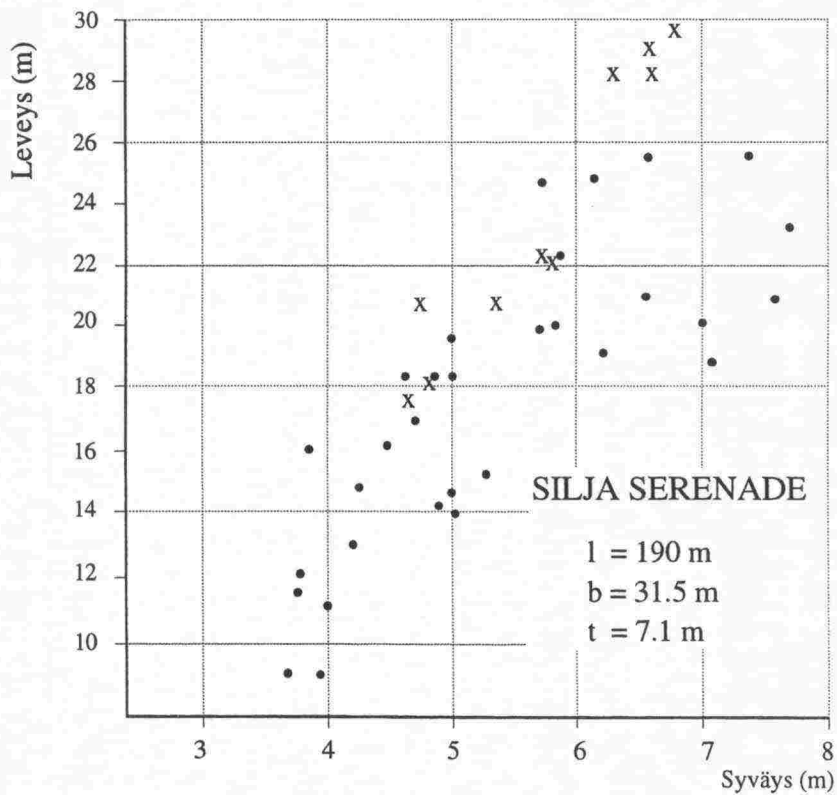
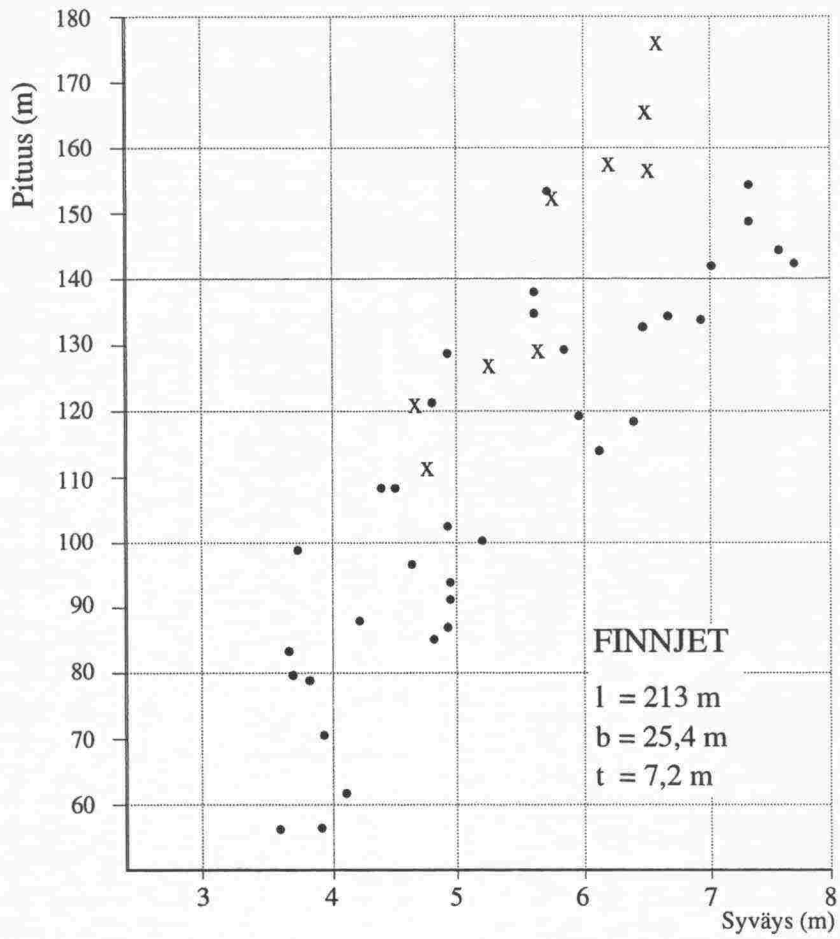
Kantavuus dwt	Uppouma t	Kokonais- pituus m	Vesiviivan pituus m	Leveys m	Syväys m	Uppouman täyteläi- syyssaste
Kappaletavara-alkukset						
40.000	54.500	209.0	199.0	30.0	12.5	0.73
35.000	48.000	199.0	189.0	28.9	12.0	0.73
30.000	41.000	188.0	179.0	27.7	11.3	0.73
25.000	34.500	178.0	169.0	26.4	10.7	0.72
20.000	28.000	166.0	158.0	24.8	10.0	0.71
15.000	21.500	152.0	145.0	22.6	9.2	0.71
10.000	14.500	133.0	127.0	19.8	8.0	0.72
5.000	7.500	105.0	100.0	15.8	6.4	0.74
2.500	4.000	85.0	80.0	13.0	5.0	0.77
Autonkuljetusalukset						
30.000	48.000	210.0	193.0	32.2	11.7	0.66
25.000	42.000	205.0	189.0	32.2	10.9	0.63
20.000	35.500	198.0	182.0	32.2	10.0	0.61
15.000	28.500	190.0	175.0	32.2	9.0	0.56

Bruttovetoi- suus BRT	Uppouma t	Kokonais- pituus m	Vesiviivan m	Leveys m	Syväys m	Uppouman täyteläi- syyssaste
Lautat						
50.000	25.000	197.0	183.0	30.6	7.1	0.63
40.000	21.000	187.0	174.0	28.7	6.7	0.63
35.000	19.000	182.0	169.0	27.6	6.5	0.63
30.000	17.000	175.0	163.0	26.5	6.3	0.62
25.000	15.000	170.0	158.0	25.3	6.1	0.62
20.000	13.000	164.0	152.0	24.1	5.9	0.60
15.000	10.500	155.0	144.0	22.7	5.6	0.57
Risteilijät						
80.000	44.000	272.0	231.0	35.0	8.0	0.68
70.000	38.000	265.0	225.0	32.2	7.8	0.67
60.000	34.000	252.0	214.0	32.2	7.6	0.65
50.000	29.000	234.0	199.0	32.2	7.1	0.64
40.000	24.000	212.0	180.0	32.2	6.5	0.64
35.000	21.000	192.0	164.0	32.2	6.3	0.63

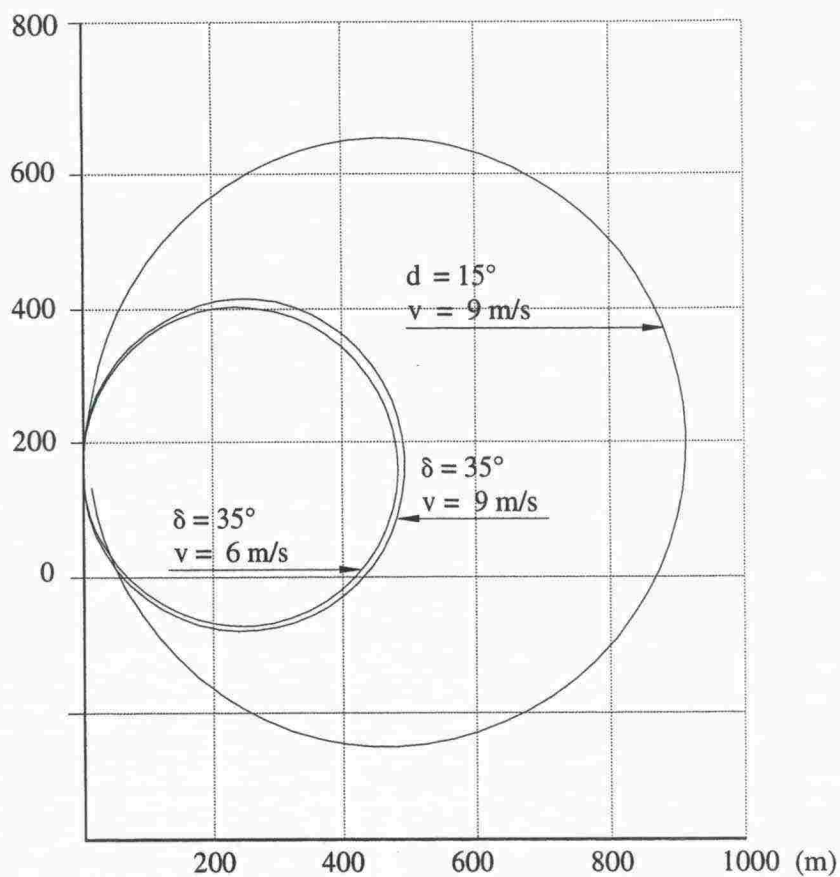
Nimitys	Kantavuus t	Pituus m	Leveys m	Syväys m
Saimaan kanavan maksimialus	1 900	82	11,8	4,35
Eurooppa II proomu ilman työntäjää	1 650	76,5	11,4	2,5
Eurooppa II proomu ilman työntäjää	2 200	76,5	11,4	3,2
Eurooppa IIa proomu ilman työntäjää	2 550	76,5	11,4	3,7
Työntäjä		noin 20	noin 10	2,5
R/S luokka 1 (joki-/merialus)		90	13,0	3,5 tai 4,5
R/S luokka 2 (joki-/merialus)		135	16	3,5 tai 4,5
R/S luokka 3 (joki-/merialus)		135	22,8	4,5

Alusten päämittoja (osa 2)

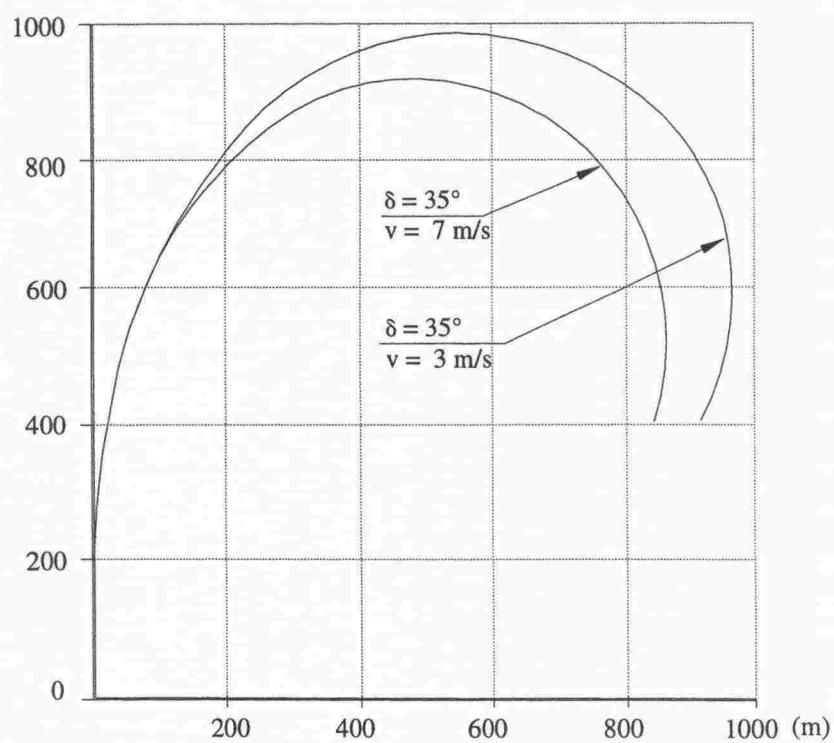
Approach Channels/A Guide for Desing, PIANC 1997)



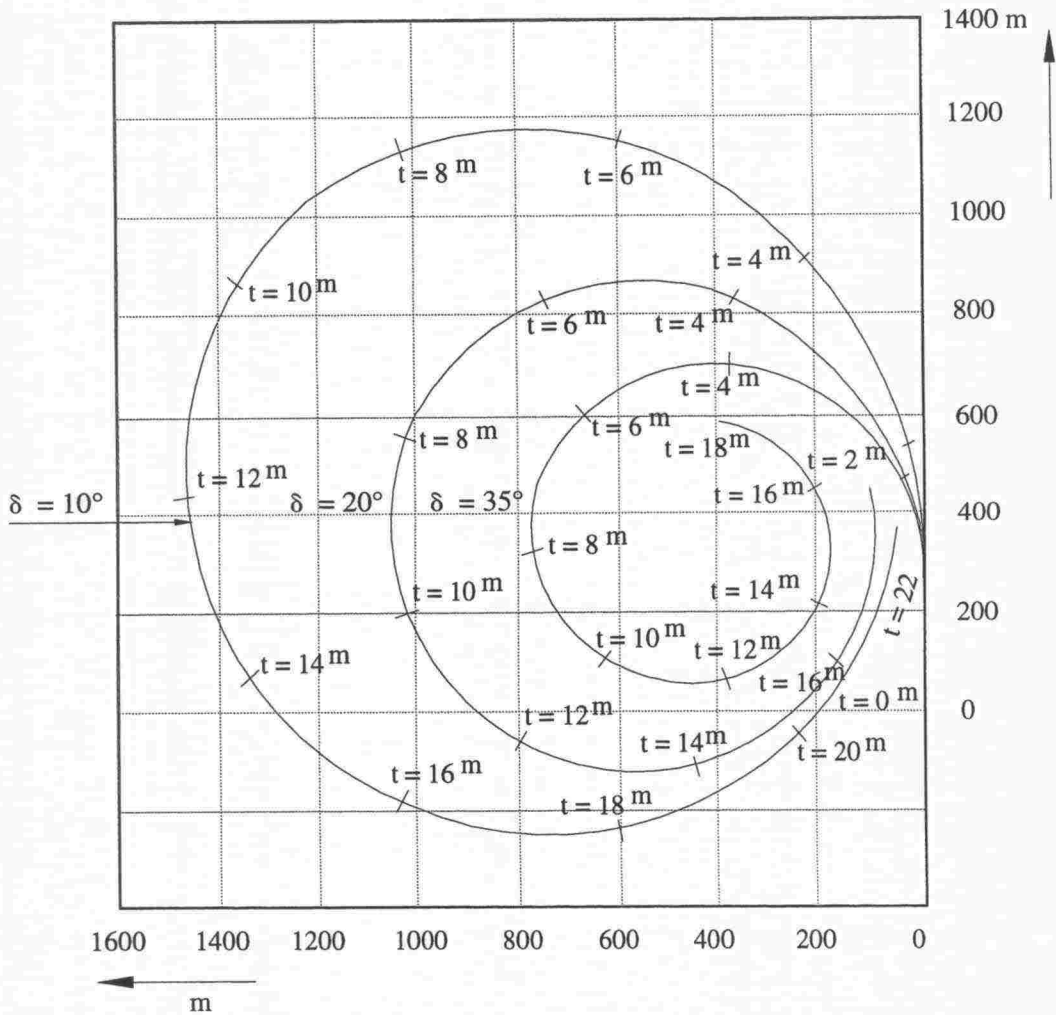
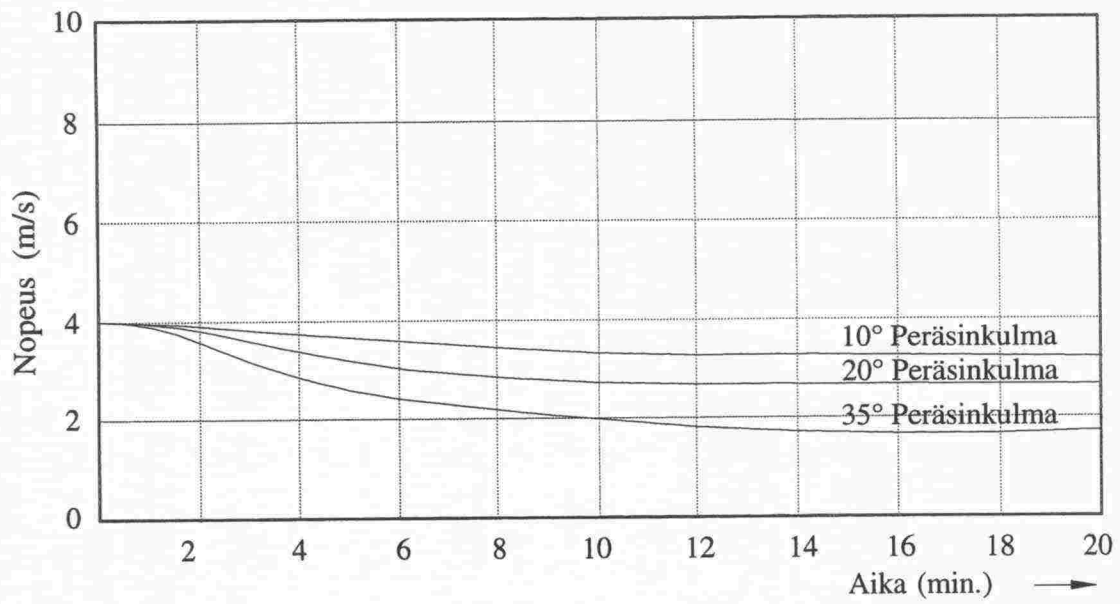
Auto ja lastilauttojen päämittoja
(x = autolautta, • = lastilautta)



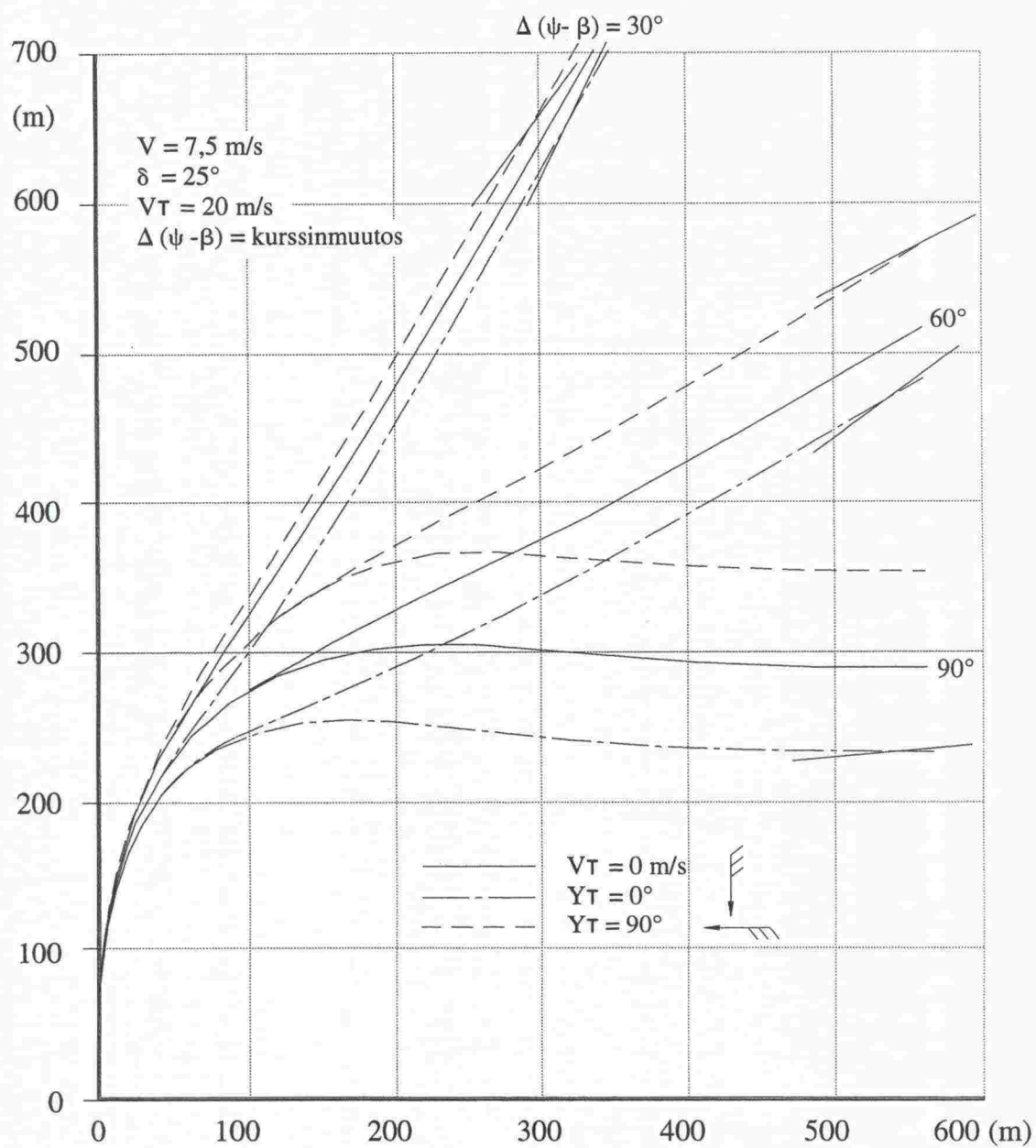
Autolautan kääntymiskäyriä ($l = 116 \text{ m}$)



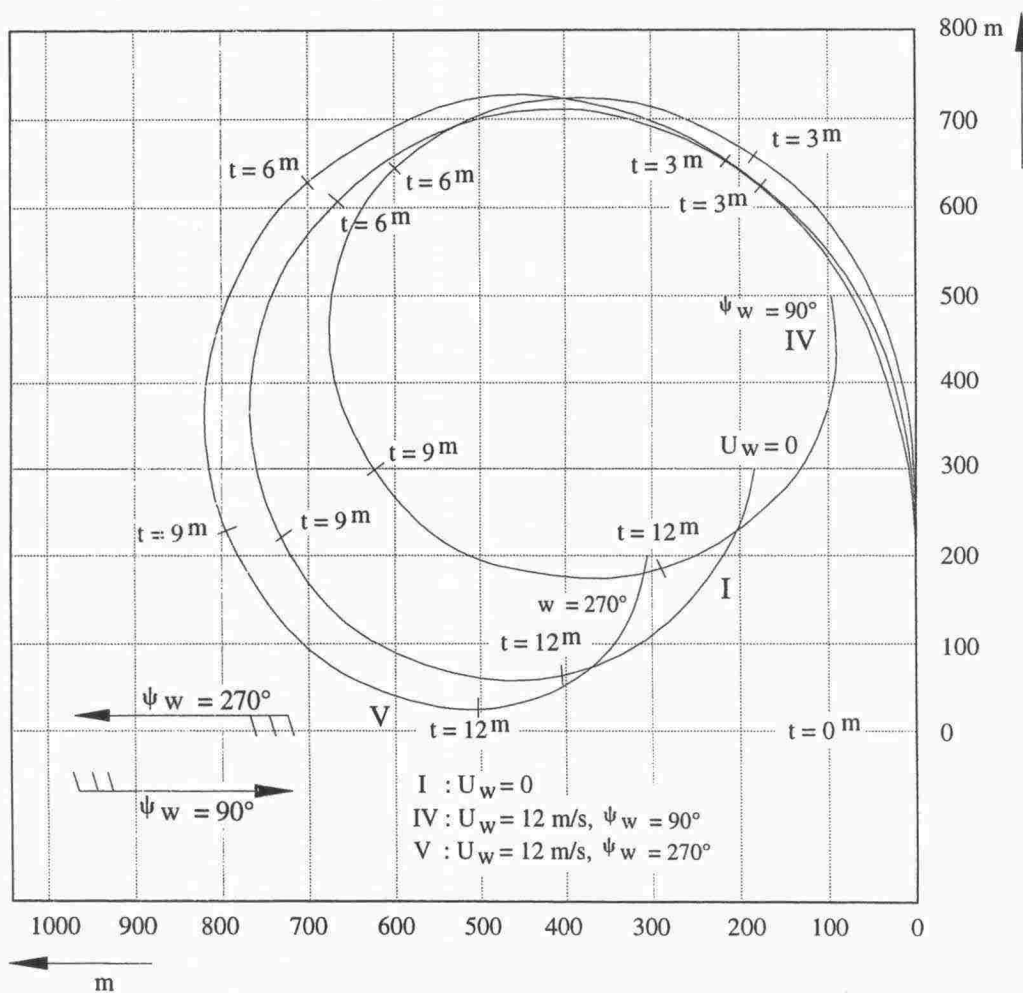
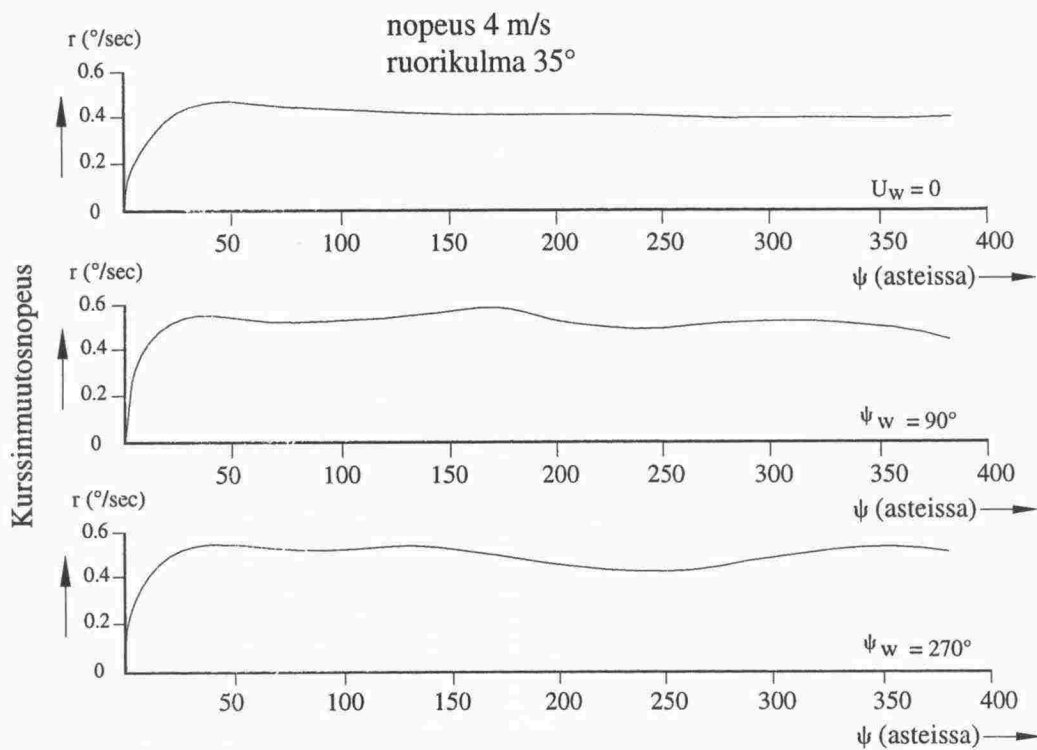
Tankkialuksen kääntymiskäyriä (110 000 dwt, $l = 270 \text{ m}$)



Konttialuksen kääntymiskäyriä ($l = 210$ m)

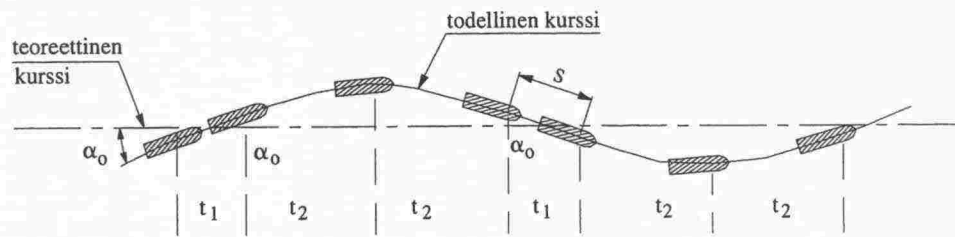


Tuulen vaikutus autolautan kääntymiseen



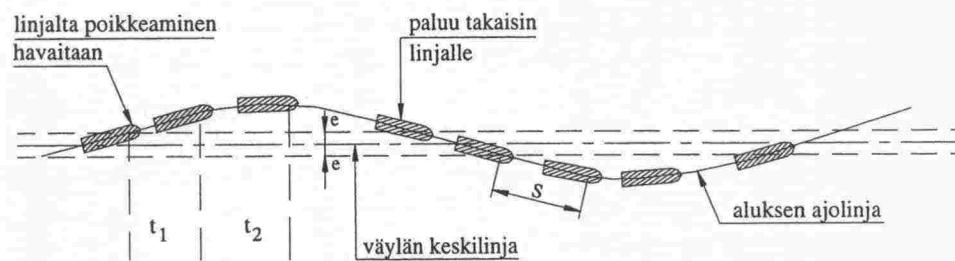
Tuulen vaikutus konttialuksen kääntymiseen ($l = 210\text{ m}$)

AVOMERIPURJEHDUS



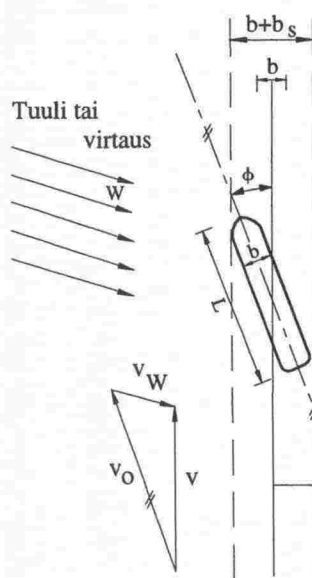
- α_0 = aluksen kriittinen kurssipoikkeama
- t_1 = viivästymä, kunnes alus tottelee ruoria
- S = 1...2 x aluspituus
- t_2 = aika, joka kuluu aluksen kääntymiseen teoreettiselle kurssille

VÄYLÄPURJEHDUS



- t_1 = viivästymä, kunnes alus tottelee ruoria
- S = 1...2 x aluspituus
- t_2 = aika, joka kuluu aluksen kääntymiseen väylän suuntaiseksi
- e = paikanmäärityksen epätarkkuus

Aluksen tahaton mutkailu



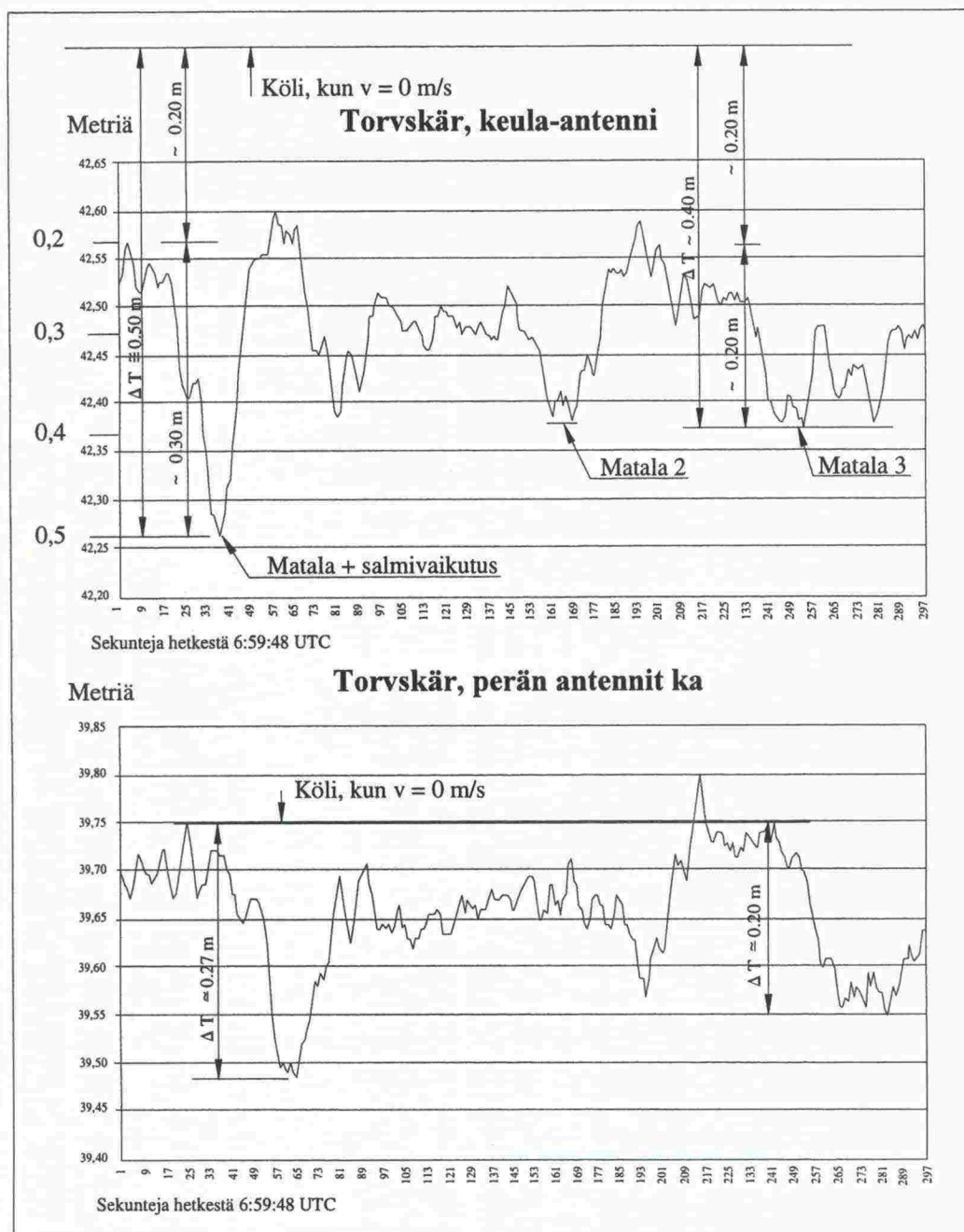
- ϕ = sorto
- b = alusleveys
- L = aluspituus
- b_s = sorron aiheuttama navigointikaistan leveneminen
- v_0 = aluksen nopeus, kun $W = 0$
- v_W = aluksen nopeus W :stä
- v = aluksen todellinen nopeus

ohjattu suunta

todellinen suunta

$$b_s = b (L/b \cdot \sin \phi + \cos \phi - 1,00)$$

Aluksen sorto



Alus: m/t Natura pituus 231 m, leveys 40 m, $C_b = 0,81$, syväys 13 m, $C_o = 2,2$
nopeus 10,2 solmua matalikolle 1 tultaessa ja keulan painuma noin 0,20 m
vesisyvyydellä 30...50 m. Perän painuma hyvin pieni.

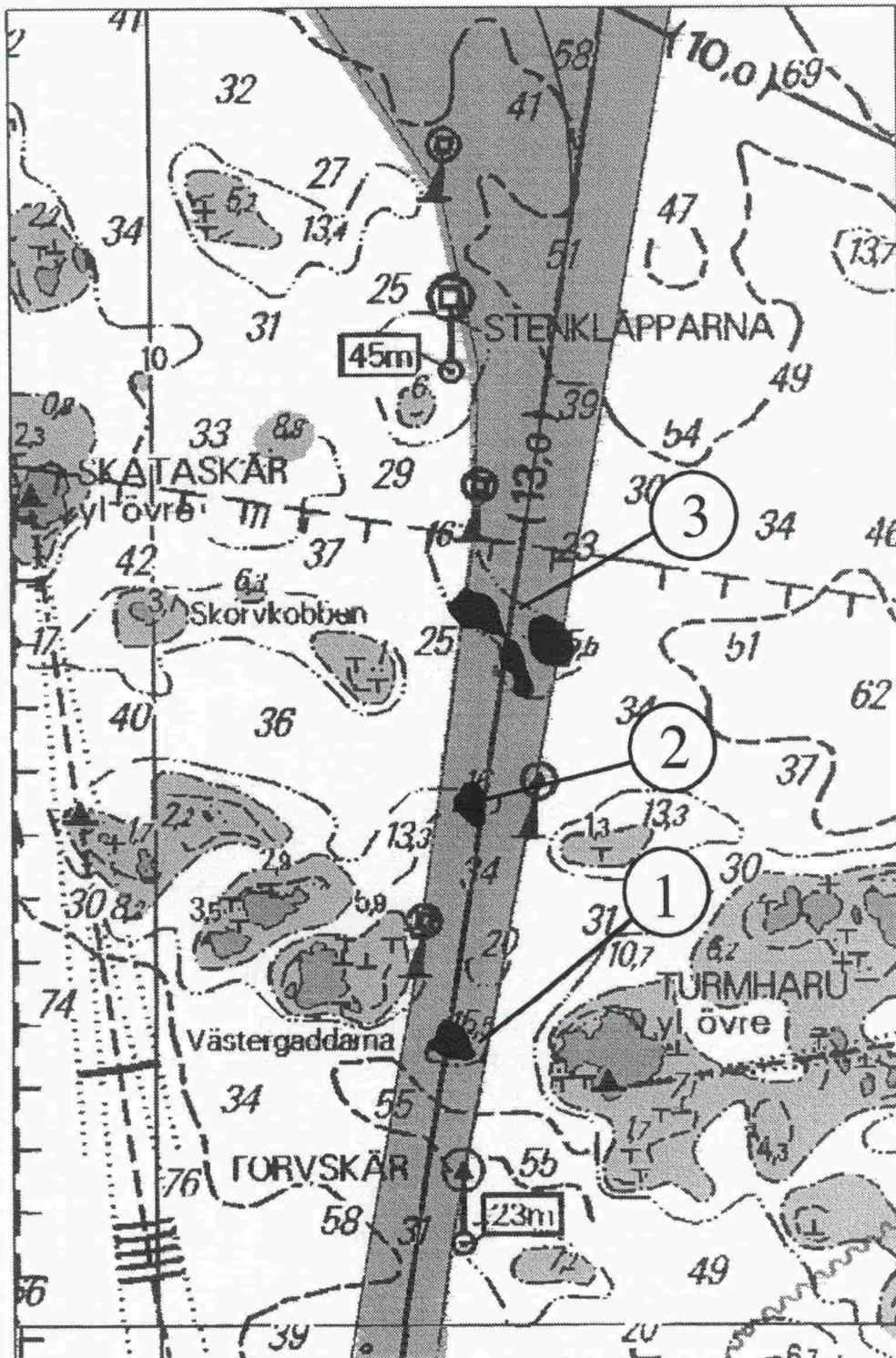
Matala 1: Salmen keskellä tasoon -15,6 m ruopattu matala. Ala noin 1,0 ha tasossa -17 m.
Salmessa väljyyysluku noin 20 ja keskisyvyys noin 22 m. Lasketut painumat: 0,53 m / Huuska-Icorels, 0,50 m / Guliev.
Mittattu keulan painuma 0,50 m.

Matala 3: Vinosti väylän poikki menevä harjanne jonka leveys on noin 100 m ja pituus noin 400 tasossa -17 m.
Matalikko ruopattu tasoon -15,6 m. Laskettu painuma vesisyvyydellä 17 m on noin 0,70 m. Mittattu painuma 0,40 m.

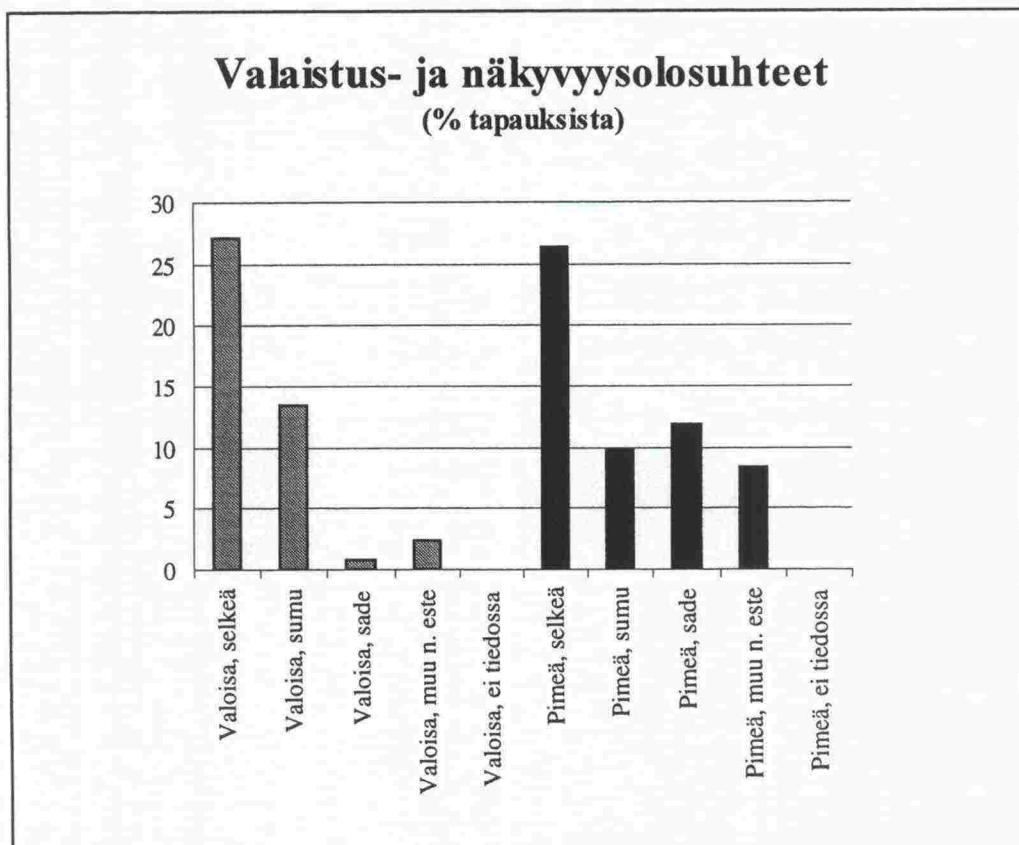
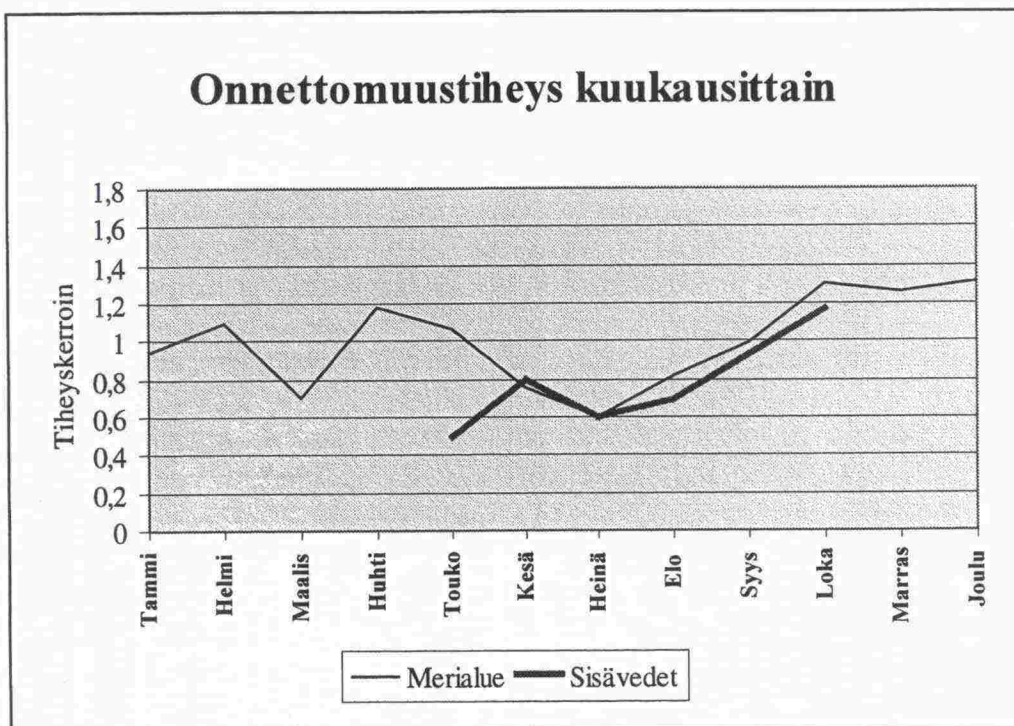
Laskennallinen painuma nopeudella 10 solmua seuraava:

- 0,22 m, kun vesisyvyys on 50 m
- 0,38 m, kun vesisyvyys on 30 m
- 0,46 m, kun vesisyvyys on 25 m
- 0,53 m, kun vesisyvyys on 22m
- 0,58 m, kun vesisyvyys on 20 m
- 0,69 m, kun vesisyvyys on 17 m
- 0,76 m, kun vesisyvyys on 15,6 m

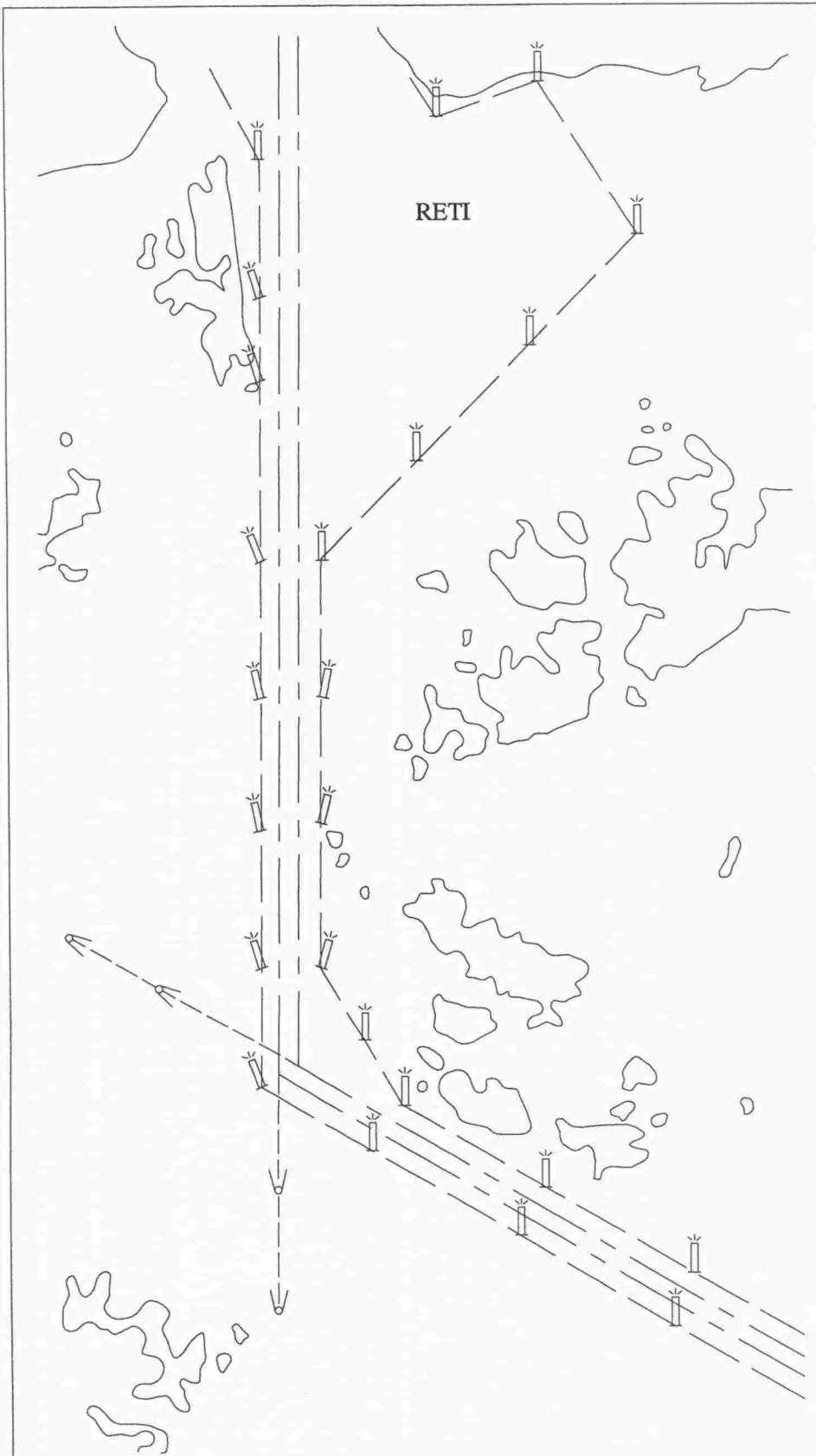
Painumamittaukset Utö - Naantali väylällä (matalat, ks. LIITE 5.2)



Torvskärin matalat Utö - Naantali välillä



Karilleajot ja pohjakosketukset 1982 - 1994



Vilkaasti liikennöidyn väylän merkintä

