Vesiväylänsuunnittelukoulutus

osa 1: Väylänsuunnittelun perusteet 7. -9.10.2014

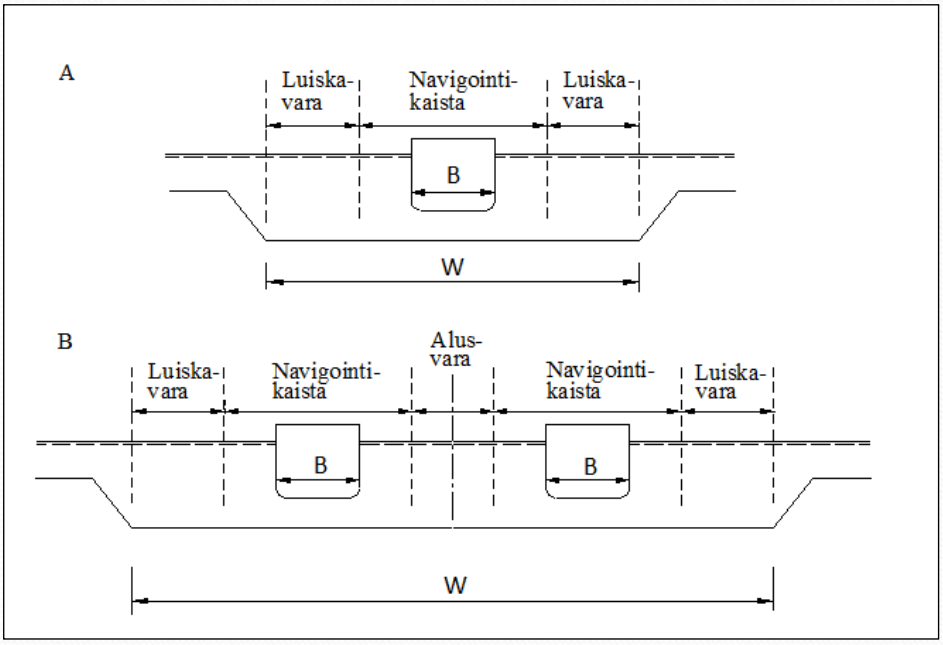
Väyläleveyden määrittäminen

Jarmo Hartikainen/ Liikennevirasto

Väylän yksi-/kaksikaistaisuus, väyläleveyden osatekijät

- Suomessa on pienistä alustiheyksistä johtuen väylän leveyden määrittämisessä lähtökohtana ensisijaisesti yksikaistaisen väylän mitoitusleveys (varsinkin kaikki ruopattavat väyläosuudet).
- Väyläaluetta levennetään väljillä vesialueilla tarpeen mukaan aina lähimpiin reunamataliin saakka, jolloin väyläleveys käytännössä vastaa osalla väylää myös kaksikaistaisen väylän leveystarvetta.
- Mitoituksen yhteydessä on sen vuoksi hyvä määrittää myös kaksikaistaisen väylän mitoitusleveys, ja siltä pohjalta edelleen määrittää, millä osuuksilla väyläleveys on riittävä myös kaksikaistaista väylää (alusten kohtaamista) silmällä pitäen

- Väyläleveys jakautuu mitoituksessa seuraaviin kaistoihin:
  - Navigointikaista, joka on aluksen käyttämä poikkileikkauksen osa. Navigointikaistan leveyteen vaikuttaa aluksen ohjailtavuus sekä olosuhdetekijät.
  - Luiskavara (reunavara), joka on aluksen ja luiskan tai aluksen ja reunamatalan väliin jätettävä hydrodynaamisista vaikutuksista johtuva varmuusetäisyys.
  - Alusvara, joka on alusten väliin kohtaamis- tai ohitustilanteessa jätettävä minimietäisyys (2-kaistaiset väylät).



Navigointikaista

Tarvittavan väylän navigointikaistaan leveyteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

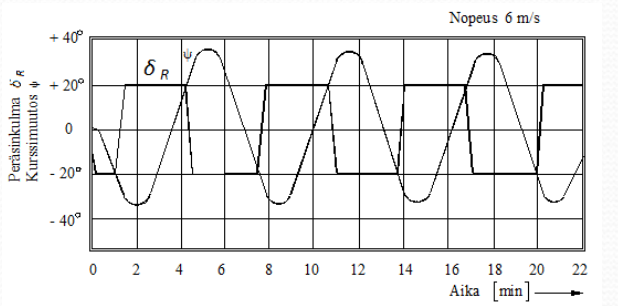
- Aluksen navigointiominaisuudet (ohjailtavuus)
- Olosuhteet
  - Tuuli
  - Aallokko
  - Virtaukset
- Paikanmäärityksen tarkkuus (väylän merkintä)
- Pohjan laatu
- Varaveden määrä

Aluksen ohjailtavuus

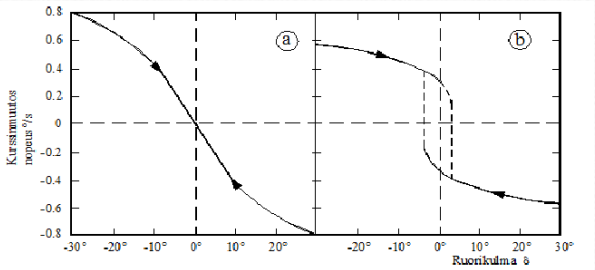
- Aluksen ohjailtavuuteen vaikuttaa mm:
  - Aluksen tahaton mutkailu (steer keeping ability)
  - Suuntavakavuus (course changing ability)
  - Kääntymisominaisuudet (turning ability)

- Aluksen ohjailtavuuden arviointi alustyypin mukaan:
  - Huono: bulk-alukset, tankkerit
  - Keskinkertainen: konttialukset, roro-alukset, LNG-alukset
  - Hyvä: risteilyalukset, autolautat, kaksoispotkureilla varustetut alukset

Aluksen kääntymisominaisuudet

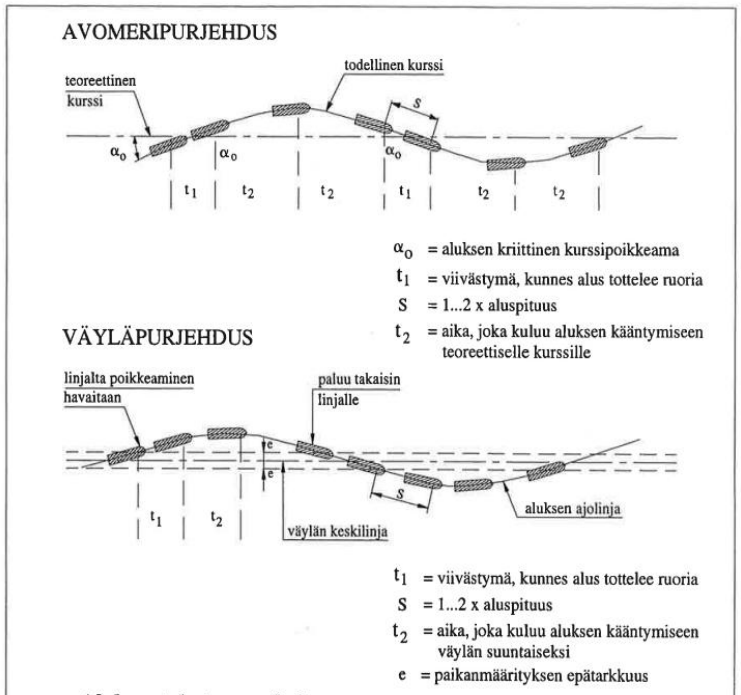


Aluksen suuntavakavuus



- a) suuntavakaa alus
- b) epävakaa alus

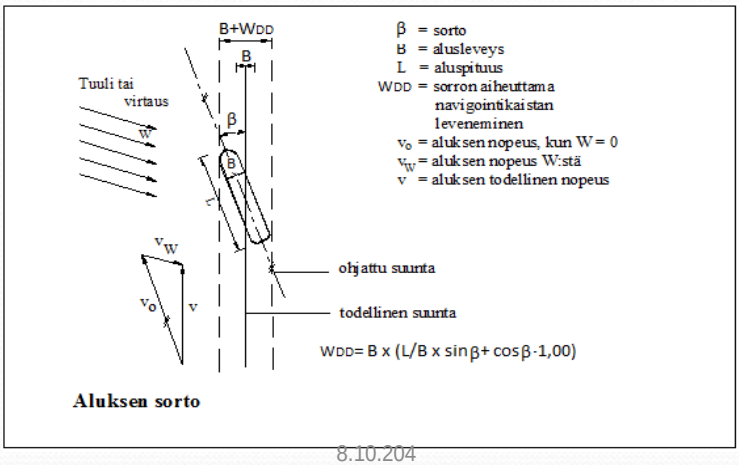
Aluksen tahaton mutkailu



Aluksen tahaton mutkailu

Aluksen sorto

- Aluksen sorto(kulma): aluksen pituusakselin ja todellisen kulkusuunnan välinen kulma
- Tuulen aiheuttamaan sortoon vaikuttaa:
  - alusnopeus (alhainen nopeus lisää sortoa)
  - aluksen tuulipinta suhteessa vedenalaiseen osaan
  - vesisyvyyden suhde aluksen syväyteen (matalassa vedessä tuuli aiheuttaa vähemmän sortoa)
  - tuulen nopeus ja suunta suhteessa alukseen



Aluksen sorto

Navigointikaistan leveyden määrittäminen

			Aluksen nopeus	Avoin vesialue	Suojainen vesialue
Aluksen ohjailtavuus (w_m)					
		hyvä		0,3 B	0,3 B
		keskinkertainen		0,5 B	0,5 B
		huono		0,8 B	0,8 B
Aluksen nopeus (w_n)					
suuri	yli 12 solmua			0,1 B	0,1 B
keskimääräinen	8 -12 solmua			0,0	0,0
pieni	5 - 8 solmua			0,0	0,0
Sivutuuli (w_t)					
heikko	alle 8 m/s	suuri	0,1 B	0,1 B	
		keskim	0,2 B	0,2 B	
		pieni	0,3 B	0,3 B	
kohtalainen	8 - 17 m/s	suuri	0,3 B	0,3 B	
		keskim	0,4 B	0,4 B	
		pieni	0,6 B	0,6 B	
kova	yli 17 m/s	suuri	0,5 B	0,5 B	
		keskim	0,7 B	0,7 B	
		pieni	1,1 B	1,1 B	
Sivuvirtaus (w_{v1})					
ei virtausta	alle 0,1 m/s			0,0	0,0
heikko	0,1 - 0,3 m/s	suuri	0,2 B	0,1 B	
		keskim	0,25 B	0,2 B	
		pieni	0,3 B	0,3 B	
kohtalainen	0,3 - 0,7 m/s	suuri	0,5 B	0,4 B	
		keskim	0,7 B	0,6 B	
		pieni	1,0 B	0,8 B	
voimakas	0,7 - 1,0 m/s	suuri	1,0 B		
		keskim	1,2 B		
		pieni	1,6 B		

Myötä-/vastavirtaus (w_{v2})				
pieni	alle 0,7 m/s		0,0	0,0
kohtalainen	0,7 - 1,5 m/s	suuri	0,0	0,0
		keskim	0,1 B	0,1 B
		pieni	0,2 B	0,2 B
voimakas	yli 1,5 m/s	suuri	0,1 B	0,1 B
		keskim	0,2 B	0,2 B
		pieni	0,4 B	0,4 B
Aallokko (w_a)				
merkitsevä	alle 1 m		0,0	0,0
aallon korkeus	1 - 3 m		noin 0,5 B	
Hs	yli 3 m		noin 1,0 B	
Paikanmääritys tarkkuus/ väylän merkintä (w_e)				
erinomainen väylämerkintä + liikenteen ohjaus			0,0	0,0
hyvä väylämerkintä			0,2 B	0,2 B
keskinkertainen väylämerkintä			0,4 B	0,4 B
Pohjan epätasaisuus (w_p)				
vesisyvyys	suurempi kuin 1,5 T		0	0
	pienempi kuin 1,5 T			
	-sileä ja pehmeä		0,1 B	0,1 B
	-sileä tai viettävä ja kova		0,1 B	0,1 B
	-epätasainen ja kova		0,2 B	0,2 B
Pieni varavesi (w_s)				
vesisyvyys	> 1,5 T		0,0	0,0
	1,5 T - 1,25 T (1,15 T suojainen)		0,1 B	0,2 B
	< 1,25 T (1,15 suojainen)		0,2 B	0,4 B
Lastin vaarallisuus			0	0

Luiskavara/ reunavaikutus (bank effect)

- Aluksen kulkiessa sen syrjäyttämän vesitilan täyttyminen aluksen perässä synnyttää ympäröivässä vedessä takaisinvirtauksen, jonka voimakkuuteen vaikuttaa:
  - poikkileikkauksen ahtaus (erityisesti jyrkät ja korkeat luiskat)
  - alusnopeus
- Epäsymmetrisessä poikkileikkauksessa takaisinvirtaus on toispuoleista, mikä aiheuttaa aluksen kulkua kääntävän momentin (aluksen perä pyrkii kääntymään luiskan suuntaan).
- Väylän leveyteen lisättävän luiskavaran tarkoitus on
  - kompensoida reunavaikutuksesta johtuvasta aluksen ylimääräisestä mutkailusta aiheutuvaa lisäleveystarvetta
  - pienentää reunavaikutusta vesipoikkileikkausalaa väljentämällä.
-

Luiskavaran ohjearvoja

Luiskatyyppi	Alusnopeus	Luiskavaran suuruus w_l
Loiva ja matala vedenalainen luiska (1:10 tai loivempi)	suuri	0,2 B
	kohtalainen	0,1 B
	alhainen	0,0 B
Korkeahko reunaluiska tai matalikon reuna	suuri	0,7 B
	kohtalainen	0,5 B
	alhainen	0,3 B
jyrkkä ja kova penger tai rakenne	suuri	1,3 B
	kohtalainen	1,0 B
	alhainen	0,5 B

Alusvara (2-kaistaiset väylät)

- Määritetään leveimmän väylää käyttävän aluksen mukaan (B)
- PIANC: jos väylää käyttää vähintään 3 mitoitusalusta/vrk) tarvitaan lisälevennys 0,5 B
- Alusnopeutta rajoitetaan kohtaamistilanteessa, jos väylän mitat sitä edellyttävät.

Alusnopeus v_s (solmua)	Alusvaran suuruus W_{av}	
	väylän ulko -osa	väylän sisäosa
suuri $v_s > 12$	2,0 B	1,8 B
kohtalainen $8 < v_s < 12$	1,6 B	1,4 B
hidas $5 < v_s < 8$	1,2 B	1,0 B

Suoran väylän leveyden määrittäminen

- $W = W_{nav} + 2\ W_l$ Yksikaistainen väylä
- $W = 2\ W_{nav} + 2\ W_l + W_{av}$ Kaksikaistainen väylä
  - W = väylän leveys
  - W_l = luiskavara
  - W_{av} = alusvara

- $W_{nav} = B + W_m + W_n + W_t + W_{v1} + W_{v2} + W_a + W_e + W_p + W_s$
- W_{nav} = navigointikaistan leveys
- B = mitoitusaluksen leveys
- W_m = aluksen ohjailtavuuden vaikutus
- W_n = aluksen nopeuden vaikutus
- Olosuhteiden vaikutus:
  - W_t = sivutuulen vaikutus
  - W_{v1} = sivuvirtauksen vaikutus
  - W_{v2} = myötä-/vastavirtauksen vaikutus
  - W_a = aallokon vaikutus
- W_e = paikanmäärityksen tarkkuuden (väylämerkinnän) vaikutus
- W_p = pohjan epätasaisuuden vaikutus
- W_s = varaveden määrän vaikutus

Vertailulaskelma

Bulk-alus
nopeus 10 -12 solmua
olosuhteet vaikeat, kova tuuli, heikko virtaus, aallonkorkeus 1 - 3 m
hyvä väylämerkintä
pohja epätasainen ja kova
pieni varavesi
korkeahkot reunaluiskat

	uusi ohje ulko-osa	sisäosa	**vanha ohje**
W_m = aluksen ohjailtavuuden vaikutus	0,8	0,8	0,5
W_n = aluksen nopeuden vaikutus	0	0	
W_t = sivutuulen vaikutus	0,7	0,7	1,0
W_{v1} = sivuvirtauksen vaikutus	0,25	0,2	
W_{v2} = myötä-/vastavirtauksen vaikutus	0	0	
W_a = aallokon vaikutus	0,5	0	
W_e = paikanmäärityksen tarkkuuden vaikutus	0,2	0,2	0,1
W_p = pohjan epätasaisuuden vaikutus	0,2	0,2	0,2
W_s = varaveden määrän vaikutus	0,2	0,4	0,4
lastin vaarallisuus	-	-	0
Navigointikaistan leveys	**2,85**	**2,5**	**2,2**
Luiskavara	2 x 0,5	2 x 0,5	2 x 0,6
Väyläleveys	**3,85 B**	**3,5 B**	**3,4 B**

Muuta huomioitavaa

Puolileveysvaatimus

- Väyläleveyden tulee täyttää myös ns. puolileveysvaatimus, eli etäisyyden väylälinjasta väylän reunaan tulee olla kaikissa kohdin vähintään puolet mitoitusleveydestä. Luiskavara huomioidaan kokonaan sillä puolella väylää, jolla määritysperusteena ollut luiska sijaitsee.

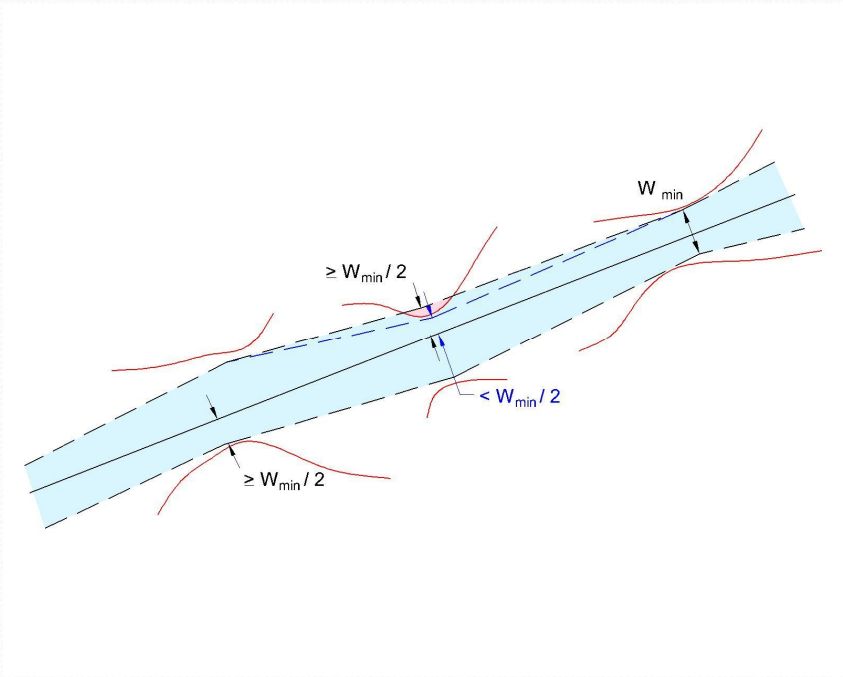
Lastin vaarallisuuden huomiointi

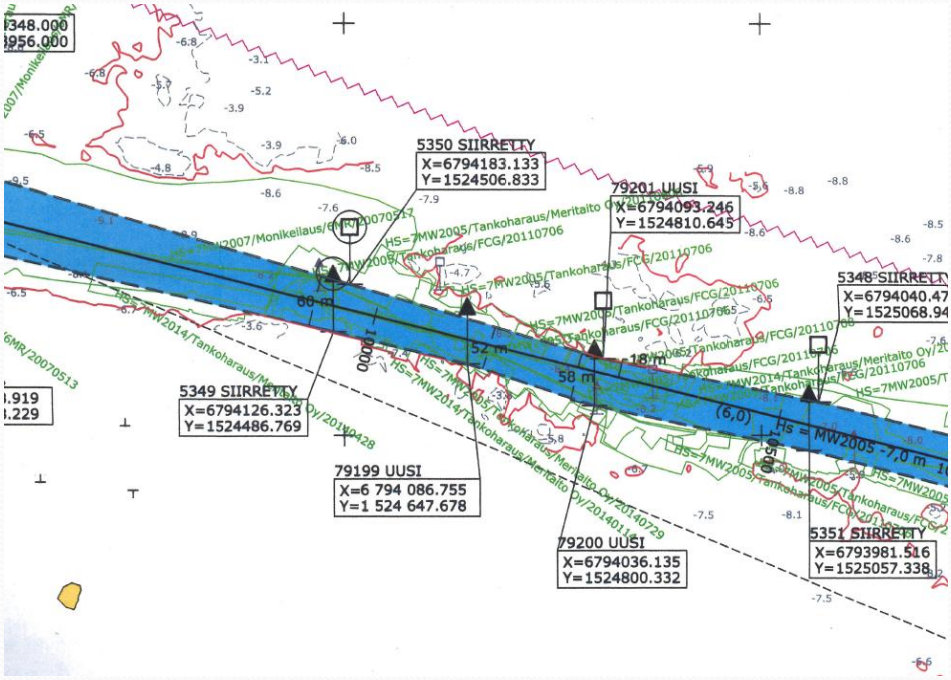
- Ei sisälly navigointikaistan leveyden osatekijöihin. Huomioidaan ensisijaisesti muulla tavoin: mm. olosuhderajoitukset, hinaaja-avustus, liikenteen ohjaus. Tarvittaessa huomioidaan lisänä väyläleveyteen (tarkentava mitoitus).

Väylän rakentamis(ruoppaus)kustannusten huomiointi

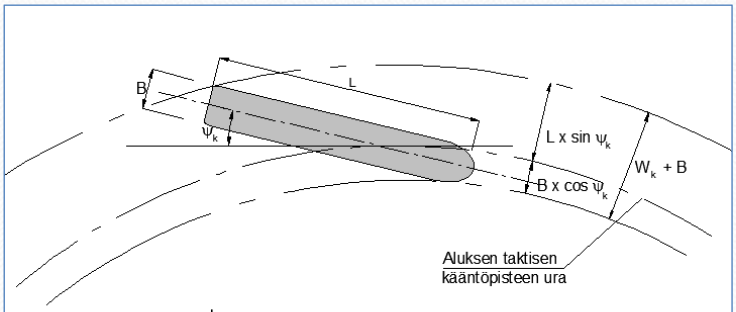
- Mitoitusteknisesti kustannuksilla ei sinällään vaikutusta väylän leveyteen
- Käytännön toteutuksessa kustannukset ja väyläleveys pyritään minimoimaan. Tarkentava mitoitus: paikallinen mitoitus paikallisiin olosuhteisiin, paikanmäärityksen tehostaminen, liikennerajoitukset jne.

Suunnitteluesimerkkejä: väylän leveyden mitoitus, puolileveyden huomiointi, esim. 1/1





Väylän leveys kaarteessa



$W_k = B \times (\frac{L}{B} \times \sin \psi_k + \cos \psi_k - 1)$

W_k = navigointikaistan levennys

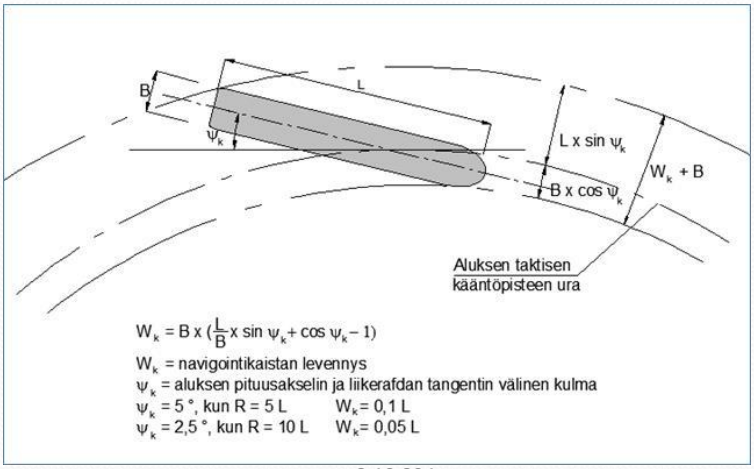
ψ_k = aluksen pituusakselin ja liikerafdan tangentin välinen kulma

$\psi_k = 5\,°$, kun R = 5 L $\quad W_k = 0{,}1$ L

$\psi_k = 2{,}5\,°$, kun R = 10 L $\quad W_k = 0{,}05$ L

Väylän leveys kaarteessa

- Kaarteen aloituskohta, väylän kulku kaarteessa ja väylän paikka kaarteen lopussa osoitettava mahdollisimman tarkasti (etenkin jos tilantarvetta on tarvetta rajoittaa).
- Teoreettinen navigointikaistan levennys (vähimmäislevennys) voidaan määrittää kuvan kaavalla:



$W_k = B \times (\frac{L}{B} \times \sin \psi_k + \cos \psi_k - 1)$

W_k = navigointikaistan levennys

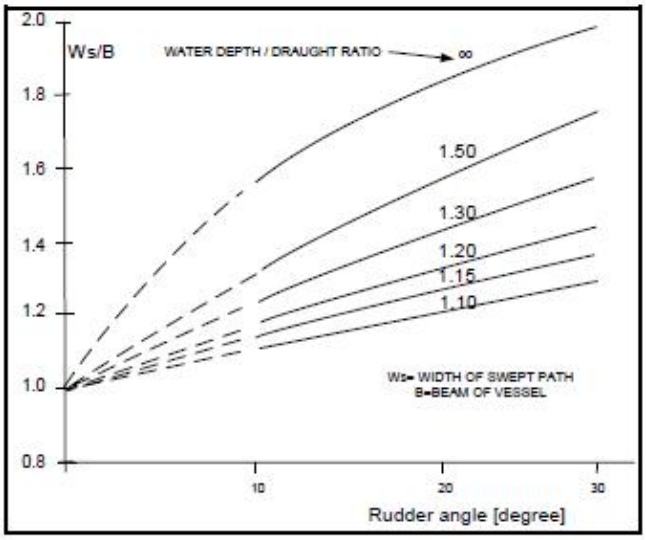
ψ_k = aluksen pituusakselin ja liikerafdan tangentin välinen kulma

ψ_k = 5 °, kun R = 5 L W_k = 0,1 L

ψ_k = 2,5 °, kun R = 10 L W_k = 0,05 L

Väylän leveys kaarteessa

Aluksen tarvitseman kaistaleveyden riippuvuus ruorikulmasta ja vesisyvyydestä



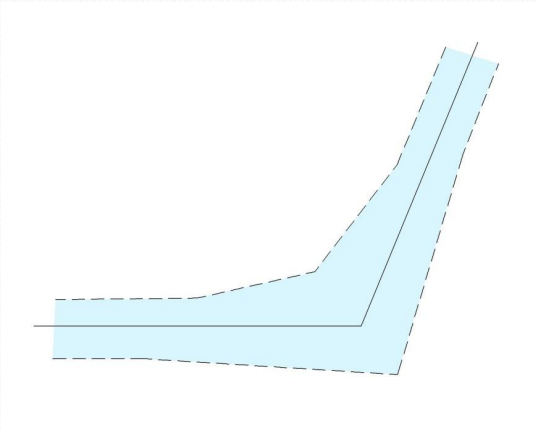
Kaarteiden suunnittelussa tulee lisäksi ottaa huomioon mm. seuraavaa:

- aluksen kääntymissäde kasvaa varaveden pienentyessä.
- alukset ovat kääntymisominaisuuksiltaan yksilöllisiä
- aluksen tuulipinta-ala ja tuuli vaikuttavat kääntymiseen
- jääolosuhteet voivat vaikeuttaa aluksen kääntymistä

Suunnitteluesimerkkejä: väylän leveyden mitoitus, puolileveyden huomiointi kaarteessa

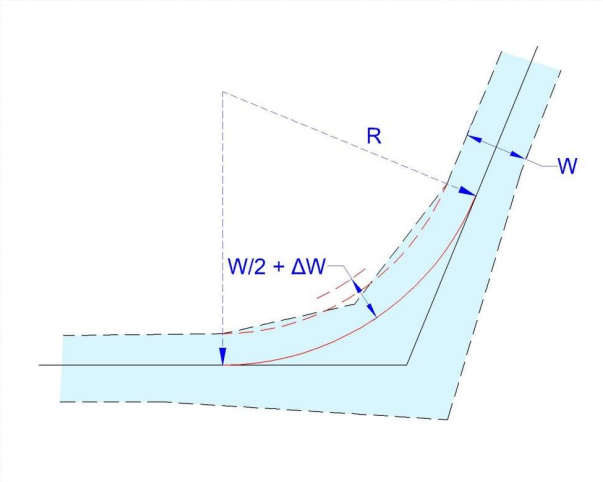
Kuva 2/1

Kaarresädettä ei merkitty näkyviin: kaarreleveyden riittävyyttä ei pysty arvioimaan



Kuva. 2/2

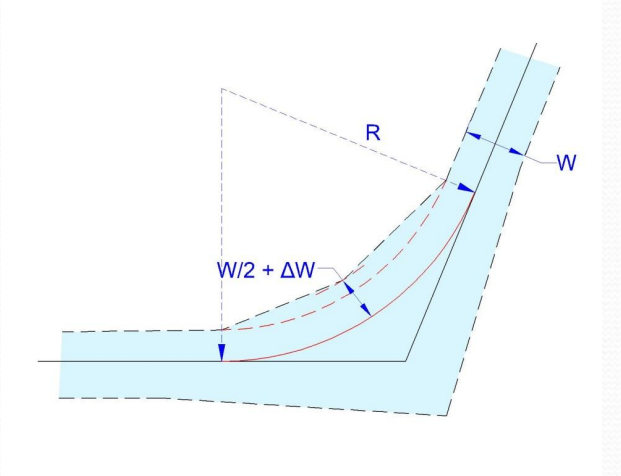
Väyläleveys sisäkaarteessa liian pieni (alle puolet mitoitusleveydestä)



Suunnitteluesimerkkejä: väylän leveyden mitoitus, puolileveyden huomiointi kaarteessa

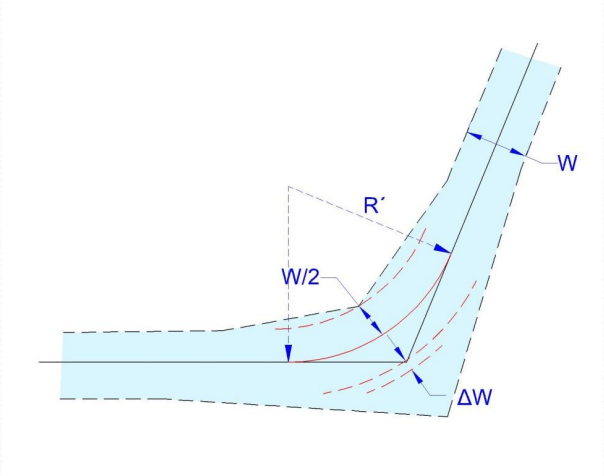
Kuva 2/3

Väyläaluetta laajennettu sisäkaartessa, jotta saatu väyläleveys sisäkaarteen puolella riittäväksi



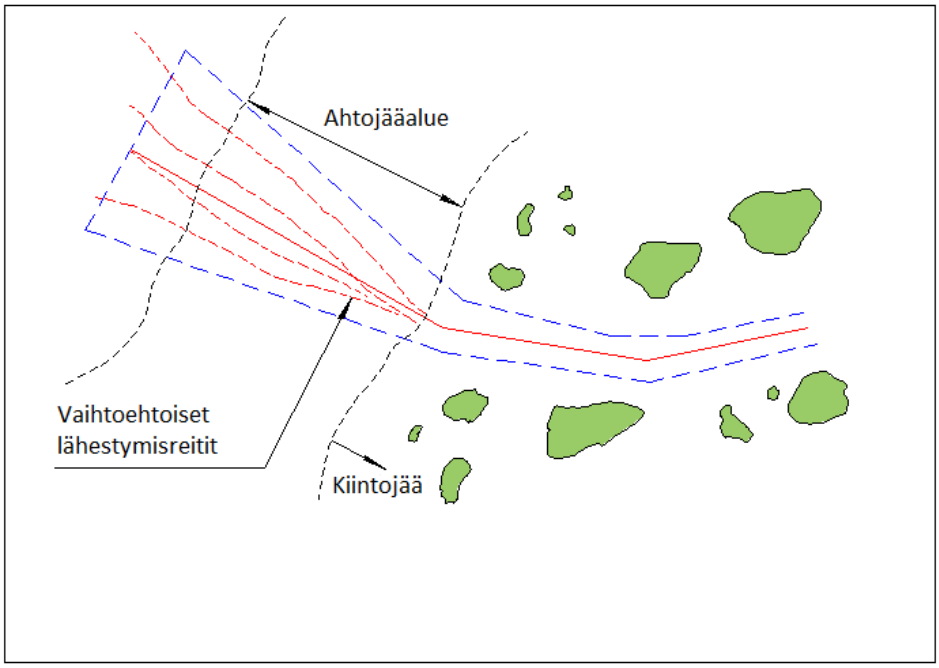
Kuva 2/4

Kaarresädettä pienennetty, jotta saatu väyläleveys sisäkaarteen puolella riittäväksi alkup. väyläaluetta laajentamatta



Väylän ulkoalueet ja selkävesialueet

- Mitoituskriteerien mukaisia väyläleveyden arvoja sovelletaan kapeikoissa ja ruoppausalueilla (yksikaistainen).
- Väljemmillä alueilla väyläaluetta pyritään useimmiten laajentamaan lähimpiin mataliin saakka, jolloin väyläleveys suurella osalla väylää on enemmän tai vähemmän mitoitusleveyttä suurempi ja on osalla väylää riittävä myös kaksikaistaiselle väylälle.
- Väyläleveyden maksimiarvoja sovelletaan silloin, kun matalikot, vesialueen muu käyttö tai muut syyt eivät rajoita väyläleveyttä (syvät selkävesialueet sekä rannikon tuloväylien ulkopäät).
- Suositukset väyläleveyden maksimiarvoille (Väyläalueen ja väylätilan määrittely, MKL:n yleisohje 1995):
  - yksikaistainen väylä — 10 ... 20 x alusleveys
  - kaksikaistainen väylä — 20 ... 50 x alusleveys
  - avomerellä väylän uloimmalla osalla — 0,5 ... 3,0 km
- Tulokäytävä on yleensä muodoltaan suppilomainen ja kapenee lähestyttäessä uloimpia saaria ja matalia.

Talviliikenteen huomiointi

- Määräytyy ensisijaisesti mitoitusaluksen ja yleisten avovesitilanteisiin tarkoitettujan väyläleveyden mitoituskriteereiden mukaan. Mahdolliset talviolosuhteista aiheutuvat lisätekijät arvioidaan erikseen.
- Avoimella ulko-osalla, liikkuvien jäiden ja ahtautumien alueella väyläleveyttä tulee olla mahdollisimman reilusti, jotta olisi mahdollista valita jäätilanteen mukaan vaihtoehtoisia kulku-uria helpoimmista kohdista pahimpien ahtaumien kiertämiseksi.
- Jääolosuhteiltaan pahoissa paikoissa väyläleveyttä tulisi olla niin paljon, että murtaja pääsee kulkemaan aluksen sivuitse sen ohi (leikkaamaan aluksen irti).
- 1-kaistaiseksi suunnitelluille väylille tulee pyrkiä suunnittelemaan riittävästi levennysalueita alusten ohittamista ja kohtaamista varten.
- Väyläalueen ulkopuolella on hyvä olla jäänmurtajille varmistettua aluetta jäänmurtajan operointia varten (mm. kääntyminen väylällä, avustettavien alusten kiertäminen).