

Juhend truupide projekteerimiseks - truubitoru dimensioneerimine

Koostajad: Toomas Timmusk, Taavi Lulla

Tartu, 2020

Sisukord

Sissejuhatus	2
Mõisted, tähistused	2
1. Põhimõtted truubi planeerimisel	3
2. Truubi konstruktsioon	3
3. Erinõuded maaparandussüsteemi teenindaval teel asuva truubi projekteerimisel	4
4. Truubitoru läbimõõdu projekteerimise algandmed	5
5. Arvutusskeemid truubi dimensioneerimiseks	6
6. Lühikese truubi läbimõõdu määramine	11
7. Pika truubi läbimõõdu määramine	14
8. Survetruubi läbimõõdu määramine	14
9. Nomogrammid truubi läbimõõdu määramiseks	15
Viidatud kirjandus.....	20

Sissejuhatus

Maaparandussüsteemide projekteerimisel on siiani kasutatud RPUI „Eesti Maaparandusprojekt“ poolt väljaantud kordusprojekte, millest truupide kohta on viimased väljaanded aastast 1990 ja 1991 [4; 7].

Nimetatud juhendid hõlmavad nii raudbetoonist truubitoru dimensioneerimist kui ka rajamist. Truubi päistest käsitleti ainult portaalpäist (otsakut). Nüüdisajal on uutest ehitusmaterjalide (teras- ja plast-torud) kasutamisest peamiseks tüübiks päiseta truubid (nõlvast väljaulatuv truubitoru). Terastoru-truupide kohta on koostatud mitu juhendit [5; 7] kus aga ei käsitleta nende hüdraulilisi arvutusi.

Käesolev juhend annab ülevaate tasasel alal rajatavate truupide hüdraulilise dimensioneerimise alustest erinevate päisete ja voolurežiimide korral. Veejuhtmete sängi mõõtmed, vooluhulgad, tee konstruktsioon ning ametkondlikud nõuded truupide miinimummõõtmetele, konstruktsioonile ning rajamise nõuetele on erinevad. Käesolevas juhendis ei käsitleta detailselt truubitoru aluse ja katendi projekteerimist ja rajamist ning tee muldest, truubi alusest ja täitepinnasest läbi filtreeruvast veest tulevaid riske ning vajalikke lahendusi. On rõhutatud vajadust igal konkreetsel juhul hinnata võimalikke riske, teha vastavad tugevusarvutused tuginedes materjalide tootjate juhenditele.

Juhendis ei käsitleta suure kaldega nõlvadele projekteeritavaid truupe, kus sissevoolul kasutatakse kiirvoolu, kaevu või truubi toru on murtud languga või tehiskaredusega. Arvutusmetoodikad nende dimensioneerimiseks on leitavad viidatud kirjanduse loetelust [2; 10].

Juhendis ei tooda arvutusmetoodikat truubist välja veejoa algkiiruse, selle laienemise ja kustumise kohta. Arvutusmetoodikad nende dimensioneerimiseks on leitavad viidatud kirjanduse loetelust [2; 9; 10; 11, 12]. Alaveepoolse voolusängi kindlustuse materjali ja pikkuse määramisel tuleb lähtuda konkreetsetest oludest. Maaparandusehituse praktikas tuginetakse kindlustuse valikul kogemusele, mis on kirjeldatud kataloogis „Maaparandusrajatiste tüüpjoonised“.

Mõisted, tähistused

Alaveetase (t) - arvutuslik, „Maaparandussüsteemide projekteerimismõõtmest“ (edaspidi norm) tuleneva ületustõenäosusega veetase truubi väljavoolu poolses otsas olevas voolusängis.

Arvutusvooluhulk (Q) – normist tuleneva ületustõenäosusega vooluhulk rajatise dimensioneerimiseks.

Kriitiline sügavus (h_{kr}) – voolu ristlõike eriennergia kõvera miinimumile vastav sügavus.

Truubi päis/otsak – (*eng* – *headwall*; *ru* – *оголовок*) – truubi konstruktsiooni osa ülaveepoolel sissevoolu suunamiseks, tee mulde toetamiseks ja selle kindlustamiseks.

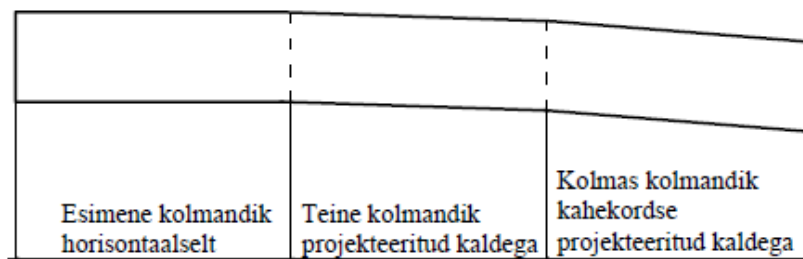
Ülaveetase (H) - arvutuslik veetase truubi sissevoolu poolses otsas olevas voolusängis.

1. Põhimõtted truubi planeerimisel

- 1.1. Truubi projekteerimisel tuleb lähtuda lähteülesandest, asukoha tingimustest ning majanduslikest aspektidest.
- 1.2. Truubi ehitusprojekt peab võimaldama:
 - 1) sõiduki ohutu ja sujuva liiklemise ning teerajatise töökindluse, pikaajalisuse ja pideva kasutamise;
 - 2) suurvee ohutu läbilaskmise;
 - 3) materjalide ja energiaressursside ökonoomse kasutamise;
 - 4) loodushoiu nõuete täitmise.
- 1.3. Truubi projekteerimisel tuleks järgida järgnevat eelistusjärjekorda (eelistatavad lahendused on eespool):
 - 1) üksiku ringikujulise ristlõikega truubitoru paigaldamine;
 - 2) üksiku eriprofiilse ristlõikega truubitoru paigaldamine (lamaprofiilid, ellipsid jms);
 - 3) üksiku erikonstruktsiooniga truubi paigaldamine (torukaared jms) ;
 - 4) kahe (binokkel) või enama ringikujulise ristlõikega truubitoru paigaldamine;
 - 5) kahe või enama eriprofiilse ristlõikega truubitoru paigaldamine;
 - 6) kahe või enama erikonstruktsiooniga truubi paigaldamine;
- 1.4. Paralleelsete truubitorude vahekaugus peab olema piisavalt suur, et tagasitäidet oleks võimalik nõuetekohaselt paigaldada ja tihendada.

2. Truubi konstruktsioon

- 2.1. Truup **projekteeritakse** arvestades tee ja ümbritseva maastiku parameetreid, kasutatavaid materjale, aluspinnast ja arvutuslikku vooluhulka.
- 2.2. Terastorude puhul tuleb arvestada truubi aluse projekteerimisel juhendeid „Terastorutruupide projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhend metsateedel“ ning „Torusillad. Riigiteedel terasprofiilist truupide ja sildade projekteerimise ja ehitamise juhised“.
- 2.3. Truup peab olema paigaldatud kindlale kandvale pinnasele. Kohtades, kus aluskiht on nõrgast materjalist, tuleb see asendada tugevama materjaliga, et vältida truubi ebaühtlast vajumist nii, et truubi üldine lang muutuks tervikuna või ka lõiguti projekteeritust väiksemaks. Vajadusel on aluse rajamiseks võimalik kasutada ka geosünteesmaterjale, puitlust, vaiaid vms.
- 2.4. Truubi projekteerimisel tuleb arvestada tee muldkeha poolt aluspinnasele avalduvast koormusest tulenevate võimalike vajumitega. Eripinnase korral tuleb vajum arvutada. Joonisel 1 on esitatud soovitus võimalikku vajumist kompenseeriva langu projekteerimiseks [5].



Joonis 1. Truubi põhja kalle toru paigaldamisel [6].

- 2.5. Vee liikumine truubi all või ümber peab olema takistatud sellisel määral, et vesi ei kujutaks ohtu rajatise püsivusele. Olenevalt ülaveetaseme kõrgusest ning truubi ja tee rajamisel kasutatavate pinnaste omadustest tuleb projekteerida abinõud filtratsiooni tõkestamiseks, nähes

- vajadusel ette truubi kruusaluses ja tee konstruktsioonis filtratsiooni tõkestamiseks ekraanid, savilukud vms.
- 2.6. Kui truubi ümbrus täidetakse liivaga, siis tuleb ülaveepoolele panna ka filtratsioonitõke. Ka surveta truubi puhul on otstarbekas hästi vettjuhtivad pinnasekihid (killustikalus, ehitusae-viku liiv) katkestada..
 - 2.7. Truubi pikkused projekteeritakse täismeeter pikkustega.
 - 2.8. Truup läbimõõduga kuni 0,9 m võib olla kuni 30 m pikk. Pikem truup projekteeritakse vähe-malt 1 m läbimõõduga.
 - 2.9. Truubi vajalik läbimõõt või ristlõike pindala tuleb leida hüdrauliliste arvutuste või asjakohaste nomogrammide abiga, kuid ei ole soovitatav kasutada truupe, mille siseläbimõõt on väiksem kui 0,3 m või mille ava ristlõike pindala on väiksem kui 0,07 m².
 - 2.10. Truubi vähim pikikalle on normis 1%.
 - 2.11. Kui vähima pikikalde nõude (1%) tagamine on raskendatud või ebamõistlik, siis võib erand-juhtudel pikikallet vähendada.
 - 2.12. Täitepinnase ja katendi түseduseks truubi peal projekteeritakse vähemalt 0,5 m, kui truubi-toru valmistanud tehas ei ole pidanud võimalikuks väiksemat täitepinnase ja katendi түsedust.
 - 2.13. Voolusäng sh teemulde nõlv truubi sisse- ja väljavoolu poolel olenevalt voolurežiimist kind-lustatakse.
 - 2.14. Lühikese truubitoru arvutusskeemi puhul mõjutavad tema läbilaskevõimet truubi päise ja truubitoru sissevooluosa kuju.
 - 2.15. Päise valikul tuleb kaalutleda tema mõju truubi läbilaskevõimele, konstruktsiooni stabiil-sust, esteetiline väljanägemist, erosioonile vastupidavust, täitepinnase erosiooni vältimist.
 - 2.16. Raudbetoonist päisete puhul levinud konstruktsioonid on portaal- ja lehterpäis.
 - 2.17. Teras- ja plasttorude kasutamisel on levinuimad ilma päiseta (mätastega või kividega kind-lustatud teemulde nõlvaga) truubid, kus toru on vertikaalse või teemuldega paralleelse lõi-kega (kaldpäis).
 - 2.18.

3. Erinõuded maaparandussüsteemi teenindaval teel asuva truubi projekteerimisel

- 3.1. Maaparandussüsteemi eesvooludel on üldjuhul lubatud surveta või poolsurveline vooluolu-kord.
- 3.2. Tee serva kõrgus truubi pealesõidul projekteeritakse arvutuslikust veeseisust:
 - 1) truubi surveta töörežiimi puhul vähemalt 0,5 m kõrgem;
 - 2) truubi poolsurvelise töörežiimi puhul vähemalt 1,0 m kõrgem.
- 3.3. Truubi vähim pikikalle on üks protsent.
- 3.4. Täitepinnase ja teekatendi paksuseks truubi peal projekteeritakse vähemalt 0,5 meetrit, kui truubitoru valmistanud tehas ei ole pidanud võimalikuks väiksemat täitepinnase ja teeka-tendi paksust.
- 3.5. Arvutusvooluhulgaks võetakse 3% ületustõenäosusega aasta päevakeskmise maksimaalne vooluhulk;
- 3.6. Maaparandussüsteemi teenindaval teel truubi projekteerimisel tuleb üldjuhul lähtuda kata-loogist „Maaparandusrajatiste tüüpjoonised“.
- 3.7. Väikese valgala veejuhtmetel ja mahaõitudel võib truubi valikul lähtuda tabelis 1 toodud-parameetritest;

Tabel 1. Truubitoru miinimumläbimõõdud väikestel valgaaldel

Truubitoru siseläbimõõt, mm	Valgala pindala, km ²
300*	< 0,1
400	< 0,2
500	<0,4

Märkused: * - mahasõidud, kui truubi pikkus on alla 8 m

4. Truubitoru läbimõõdu projekteerimise algandmed

- 4.1. Projekteeritava eesvoolu/kraavi andmed: põhjalaius, sügavus, nõlvus, lang, karedusarv. Ole-masoleva veejuhtme lang ja ristlõike parameetrid määratakse mõõdistusega.
- 4.2. Tee mulde andmed: tee pinna kõrgus ja laius, mulde nõlvustegurid.
- 4.3. Määratakse arvutusvooluhulk (aasta päevakeskmise maksimaalne vooluhulk normis esitatud ületustõenäosusega).
 - 4.3.1. Vajalikud vooluhulgad määratakse hüdromeetriliste vaatlusandmete põhjal.
 - 4.3.2. Ebapiisavate vaatlusandmete puhul kasutatakse võimalusel sobiva analoog-veejuhtme vaatlusandmeid.
 - 4.3.3. Kui puudub võimalus vaatlusandmete kasutamiseks, siis võib kasutada vooluhulkade leidmiseks asjakohaseid valemeid. Maaparanduses on sellistel juhtudel senini kasutatud K. Hommiku regionaalseid empiirilisi valemeid.
- 4.4. Arvutatakse alaveetaseme kõrgus kasutades punktis 3.1 ja 3.3 nimetatud algandmeid. Kui projekteeritavast truubist allavoolu olevad rajatised tekitavad täiendava paisutuse, siis tuleb arvestada nende mõju.
- 4.5. Määratakse üleveetaseme maksimaalse kõrgus, mis oleneb paisutuse piirkonnas voolusängi suubuvate rajatiste ja tee mulde kõrgusest või muudest tingimustest (ülavee poolel lubatava või looduslikest tingimustest tulenev üleujutuse kõrgus vm).
- 4.6. Tee mulde ristlõike ja eesvoolu põhja kõrguse alusel leitakse truubitoru pikkus.
- 4.7. Valitakse arvutusskeem (punkt 4) , arvutatakse või määratakse vastavatelt nomogrammideelt vooluhulga ja surve alusel sobiv toru ristlõike suurus. Kontrollitakse saadud mõõtmete vastavust arvutusskeemile, vajadusel korrigeeritakse valikut.

Märkus: Truupide dimensioneerimise arvutusskeemid, selleks kasutatavad valemid ja arvutusteks kasutatavad tegurid tuginevad labori- ja välikatsetele, mis on tehtud paljude teadlaste poolt viimase sajandi jooksul. Seetõttu käsiraamatute kasutamisel tuleb arvestada nende kasutamiskiire ja tingimusi.

5. Arvutusskeemid truubi dimensioneerimiseks

- 5.1. Dimensioonimisel tuleb arvestada truubi mõju ümbritsevale keskkonnale ja ehitistele, veetaseid ning võimalikke uhtumisi ja settimisi. Samuti tuleb hinnata dimensioneerimise algandmete kvaliteedist tulenevaid riske ning arvutustulemuste võimalikku täpsust.
- 5.2. Truubi läbilaskevõime oleneb valitud truubi konstruktsiooni puhul (päise ja truubiava kuju ning nende mõõtmed) truubi üla- ja alavee tasemetest ja voolurežiimist truubis.
- 5.3. Arvutusristlõikeks ja lähteparameetriteks on kas sissevool või väljavool (tabel 2). Väikese kohttakistusteguriga päise ja truubi sissevoolu kujundus (koonusekujuline päis, ümardatud servadega toru vm) võimaldab suurendada truubi läbilaskevõimet. Truubist välja vee kiirusest oleneb voolusängi kindlustusvajadus.

Alavee kõrge veetase (uputus) või pikk truup mõjutavad lisaks sissevoolu kujundusel voolurežiimi ja truubi läbilaskevõimet.

Tabel 2. Parameetrid truubitoru dimensioneerimiseks

Parameeter	Sissevoolul	Väljavoolul
Ülaveetase	x	x
Truubi ava pindala	x	x
Truubi ava kuju	x	x
Päise kuju	x	x
Truubi materjali karedus	-	x
Truubi pikkus	-	x
Toru lang	x	x
Alaveetase	-	x

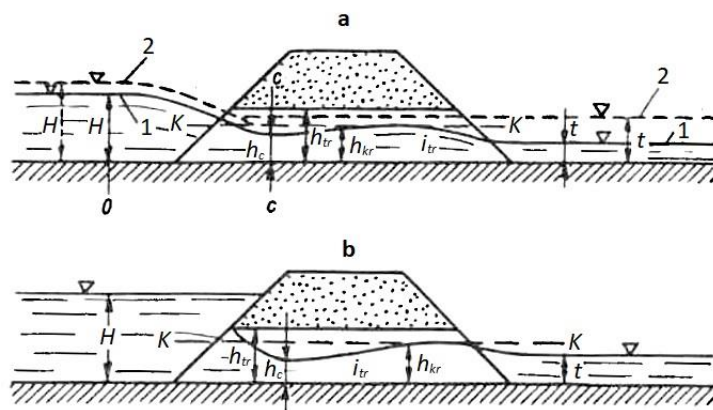
- 5.4. Arvutusskeemidele vastavaid voolurežiime ja arvutusparameetrite vahelisi seoseid on detailselt käsitletud viidatud kirjanduse loetelus töödes 1; 2; 9; 11 ja 12.
- 5.5. Truubi arvutusskeem maksimaalse vooluhulga korral voolurežiimi järgi on: **surveta, poolsurveline (joonis 1), surveiline või üleujutatatud (joonis 2)**. Iga voolurežiimi jaoks on erinev arvutusvalem valem. Surveta voolurežiimi korral arvutatakse truupi lailäviülevoolumina, poolsurvelise voolurežiimi korral voolamisena avast.

Surveta voolurežiimi korral läbib truubi ka väiksem ujuvpraht.

Poolsurvelise, surveilise või ülevoolumina töötava voolurežiimi korral on sama läbimõõdu korral truupi läbiv vooluhulk suurem, kuid suurema välja voolukiiruse tõttu on vajalik täiendav voolusängi alavee poolse osa kindlustus.

Üleminekurežiim poolsurvelisest voolurežiimist surveilisele võib tekitada truubitorus vahelduvad ala- ja ülerõhu tsoonid, mis lühikeste betoonitorude ebakvaliteetse vuugikonstruktsiooni korral võib põhjustada pinnase varisemise truupi.

Survetruubi korral, või kui on lubatud vool üle tee mulde (joonis 2), tuleb mulle projekteerida filtratsiooni vältimiseks paisuna või lailävi ülevoolumina koos vajaliku kindlustusega. Olenevalt ülaveetaseme kõrgusest ning truubi ja tee rajamisel kasutatavate pinnaste omadustest tuleb kavandada abinõud filtratsiooni tõkestamiseks. Nimetatud variantide eeliseks on suurem vee läbilaskevõime.

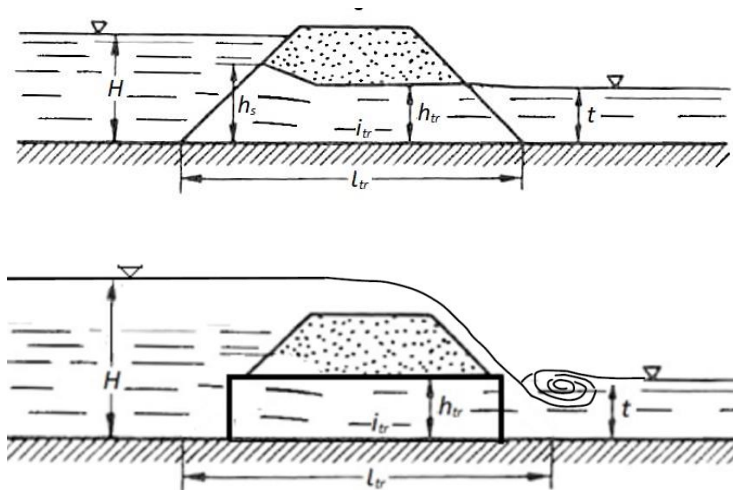


Joonis 1. **a** on surveta truup, **b** on poolsurvetruup, (1 uputamata, 2 uputatud). K – tähistab veetaset kriitilise sügavuse juures.

5.6. Vool on surveta, kui surve truubi ees:

$$H \leq (1,1 \dots 1,2)h_{tr} \quad (1)$$

kus h_{tr} on truubi kõrgus, ning kui truubi lagi on ümartruupidel vähemalt $d/4$ ning ristkülikukujulistel vähemalt $h_{tr}/6$ võrra truubis olevast veepinnast kõrgemal.



Joonis 2. Survetruup ja ülevooluga truup,

5.7. Truubitoru pikkuse mõju järgi läbilaskevõimele on arvutuskeemiks hüdrauliliselt **lühike või pikk toru**.

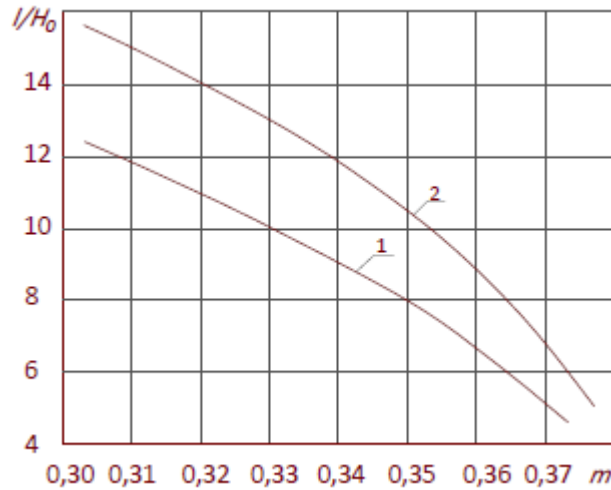
5.8. Lühikese toru arvutuskeemi korral uputamata truubi läbilaskevõime oleneb ainult ülaveetasemest, truubi sissevoolu ava kujust ja ristlõike suurusest. Toru pikkus ja karedus ei mõjuta läbilaskevõimet.

5.9. Pikal torul on ahasristlõige uputatud ning seetõttu läbilaskevõime väiksem.

5.10. Lühikese toru kriteeriumeid on esitanud mitmed teadlased:

5.10.1. Lühikeseks loetakse toru, mille pikkus väiksem kui 20 kordne läbimõõt [3].

5.10.2. Vooluhulga teguri, langu ja surve alusel on lühikese truubi suurim pikkus leitav jooniselt 3.



Joonis 3. Lühikese truubi maksimaalne pikkus: 1 – truubi lang on null; 2- truubi lang on ligikaudu kriitiline [11].

5.11. Kui truubi lang ületab voolu kriitilise langu, siis sõltumata toru pikkusest on hüdrauliliselt arvutusskeemiks lühike truubitoru. Kriitiline lang (i_{kr}) arvutatakse valemiga:

$$i_{kr} = \frac{Q^2}{\omega_k^2 C_k^2 R_k} = \frac{g \chi_k}{\alpha C_k^2 b_k} \quad (2)$$

$$C_k = \frac{1}{n} R_k^y \quad (3)$$

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R_k}(\sqrt{n} - 0.1) \quad (4)$$

kus Q – arvutuslik vooluhulk (m^3/s)

ω_k – voolu ristlõige (m^2) kriitilise sügavuse h_{kr} korral;

b_k – voolu pealtlaius (m);

R_k – hüdrauliline raadius (m);

g – raskuskiirendus;

α – Coriolise tegur;

χ_k – märg perimeeter (m);

C_k – Chezy moodul.

Karedusarv n betoonitorude jaoks on 0,010-0,15; plasttorude jaoks 0,009-0,025; profileeritud terastorude jaoks 0,011-0,037 (tabel 3).

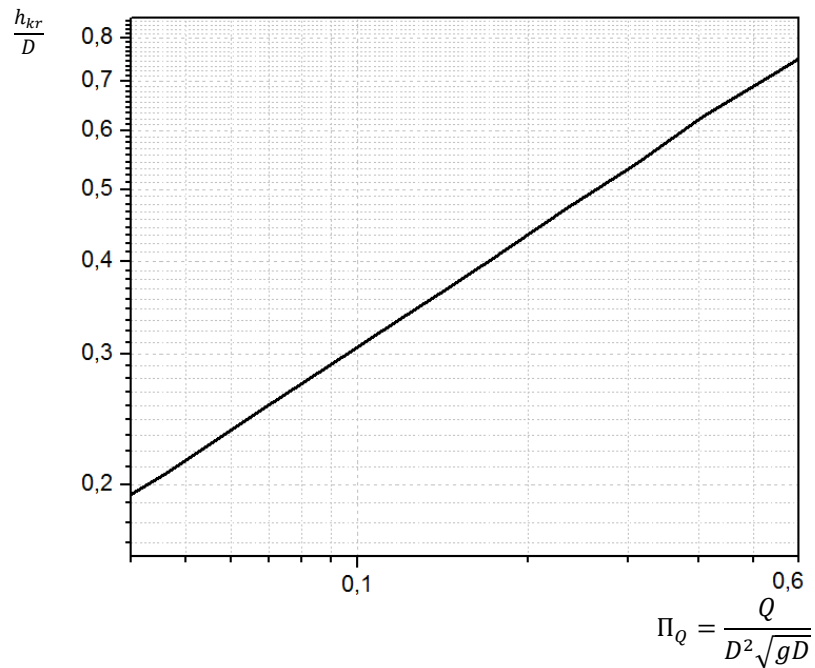
Tabel 3. Erinevate torumaterjalide karedustegurid n [2].

Toru tüüp	Karedus või laine pikkus x kõrgus	Karedustegur, n	Allikas
Raudbetoontoru	Sile	0.010-0.011	Straubet al. 1960; May et al. 1986 Tullis 1986 & 1991a
Raudbetoonist muhvtorud	Sile	0.012-0.015	FHWA 1961
Sile terasleht, spiraalselt liidetud	Sile	0.012-0.013	Tullis 1983 & 1991b
Metallist lainetoru (Spiraalne laine)	68 x 13 mm	0.011-0.023	FHWA 1980 Tullis 1991c
Metallist lainetoru (Spiraalne laine)	150 x 25 mm	0.022-0.025	FHWA 1980
Metallist lainetoru. Lameprofiil (rõngakujuline laine)	68 x 13 mm	0.022-0.027	FHWA 1980
Metallist lainetoru. Lameprofiil (rõngakujuline laine)	125 x 25 mm	0.025-0.026	FHWA 1980
Metallist lainetoru. Lameprofiil (rõngakujuline laine)	75 x 25 mm	0.027-0.028	FHWA 1980
Laineprofiiliga monteeritavad terasplaadid (rõngakujuline laine)	150 x 50 mm	0.033-0.035	FHWA 1980
Laineprofiiliga monteeritavad terasplaadid (rõngakujuline laine)	230 x 64 mm	0.033-0.037	FHWA 1980
Polüetüleentoru	Sile	0.009-0.015	Barfuss & Tullis 1988 Tullis et al. 1990
Polüetüleen lainetoru	Lainetoru	0.018-0.025	Clyde 1980 USBR 1985
Polüvinüülkloriid (PVC)	Sile	0.009-0.011	Neale and Price, 1964 Bishop and Jeppson, 1975

5.12. Ümarristlõike jaoks (läbimõõduga D) on võimalik kriitilist sügavust määrata joonisel 4 oleva graafiku järgi. Selleks tuleb arvutada abisuurus Π_Q

$$\Pi_Q = \frac{\alpha Q}{D^2 \sqrt{gD}} \quad (5)$$

Kus D – truibitoru eeldatav läbimõõt (m)



Joonis 4. Abigraafik kriitilise sügavuse määramiseks [10].

- 5.13. Olenevalt alaveetasemest, truubi pikkusest, karedusest või väikesest langust võivad truubi sees tekkida **uputamata või uputatud voolurežiim** (joonis 1).
- 5.14. Truubi, mille karedus ei ole suurendatud ja lang on väiksem kriitilisest või kui lang on suurem kriitilisest, kuid pikkus $l < (8...15) H$, on **uputamata** vooluolukord, kui

$$t \leq (1,2 \dots 1,25)h_{kr} \text{ ja } t < (0,7 \dots 0,77)H_0 \quad (6)$$

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} \quad (7)$$

kus t on alaveetase, h_{kr} on kriitiline sügavus truubi sees ning H_0 -dünaamiline surge, v_0 on kiirus juurdevoolusängis.

Tabel 4. Truubi hüdraulilised tegurid erineva päise puhul (m – surveta truubi vooluhulgategur; ϵ_{ps} – poolsurvetruubi ahendustegur; μ_{ps} – poolsurvetruubi vooluhulgategur) [11].

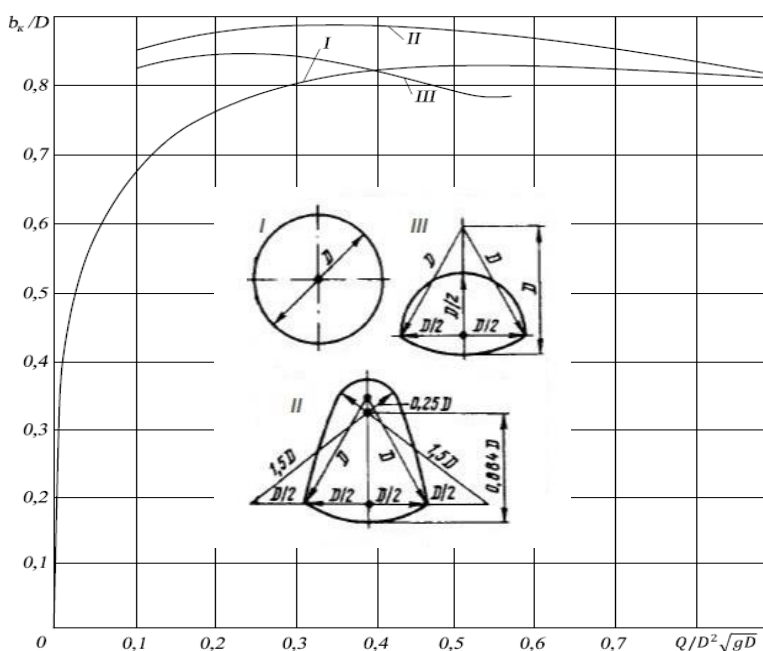
Toru ristlõige	Arvutus- tegurid	Truubi hüdraulilised tegurid erineva päise puhul			
		päiseta	portaal- päis	kaldpäis, $\alpha = 0^\circ$	lehterpäis, $\alpha = 30^\circ \dots 45^\circ$
Ristkülik	m	0,31	0,325	0,315	0,35
	ϵ_{ps}	0,86	0,74	0,74	0,81
	μ_{ps}	0,63	0,62	0,58	0,68
Ümmargune	m	0,31	0,31	0,31	0,33
	ϵ_{ps}	0,66	0,79	0,75	0,79
	μ_{ps}	0,56	0,65	0,62	0,70

Märkus: vooluhulgateguri m väärtus on toodud langu 1% jaoks. Muude langu väärtuste jaoks tuleb seda suurendada või vähendada 2% iga 1% langu väärtuse kohta.

Truubi langu mõju vooluhulga tegurile arvutatakse valemiga (7):

$$m = m_r \left[1 + \frac{0,74 i_{tr} h_{sv}}{H_0} \right]^{1,5} \quad (7)$$

Kus m_r - rõhtsa truubi vooluhulgategur;

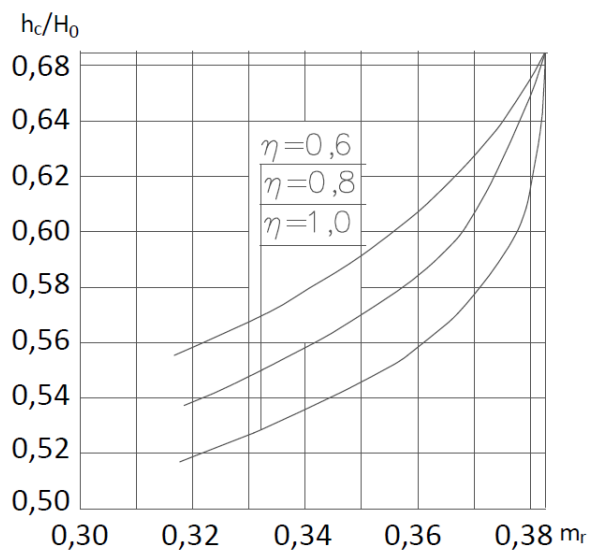


Joonis 7. Graafik keskmise voolulauuse määramiseks kriitilise sügavusega voolu ristlõikes (I – ümarprofiil; II – ovoidprofiil; III – lameprofiil/ võlvprofiil).

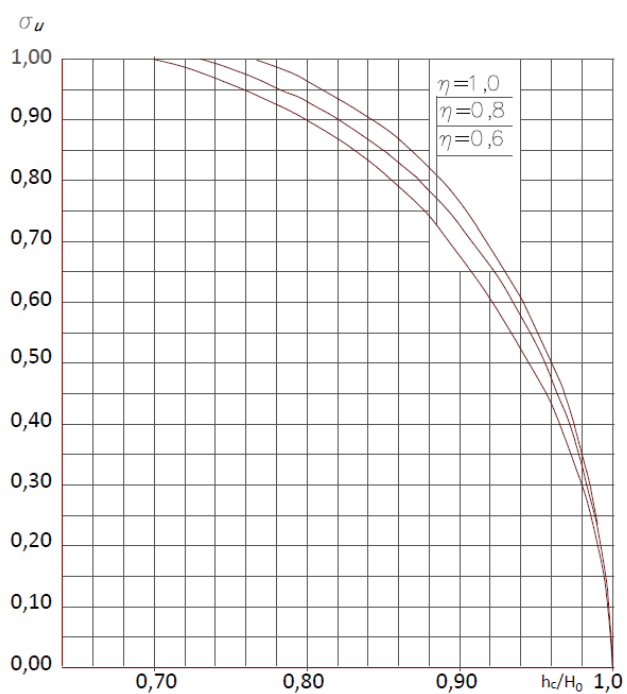
Uputatud surveta truubis on sügavus võrdne alavee tasemega ning läbilaskevõime arvutatakse valemiga 8:

$$Q = \sigma_u m b_k (2g)^{1/2} H_0^{3/2} \quad (8)$$

Kus σ_u - uputustegur, mis leitakse jooniselt 9 suhte h_c/H järgi. .



Joonis 8. N. Rozanovi graafik ahassügavuse h_{c0} määramiseks rõhtsas ümartruubis ($\eta = H/d$)



Joonis 9. N. Rozanovi graafik surveta lühikese truubi uputusteguri määramiseks ($\eta = H/d$)

6.5. **Poolsurvetruubi** ($H > 1,2 h_{tr}$) vooluskeem on nagu vabal voolamisel varja alt.

Truubi läbilaskevõime arvutatakse valemiga 9:

$$Q = \mu_{ps} \omega_{tr} \sqrt{2g (H - \varepsilon_{ps} h_{tr})} \quad (9)$$

Kus ω_{tr} - truubitoru ristlõike pindala;

μ_{ps} – poolsurvelise truubi vooluhulgategur (tabel 2);

ε_{ps} – poolsurvelise truubi ahendustegur (tabel 2);

H – surve truubi ees;

h_{tr} – truubi kõrgus.

7. Pika truubi läbimõõdu määramine

7.1. Hüdrauliliselt pika truubi kriteeriumid on punktis 4.10.

7.2. Esimeses etapis dimensioneeritakse truup punktis 6 esitatud skeemi alusel (lühikese truubi arvutus).

7.3. Täiendav surve pika truubi ülavees määratakse valemiga 10 [8].

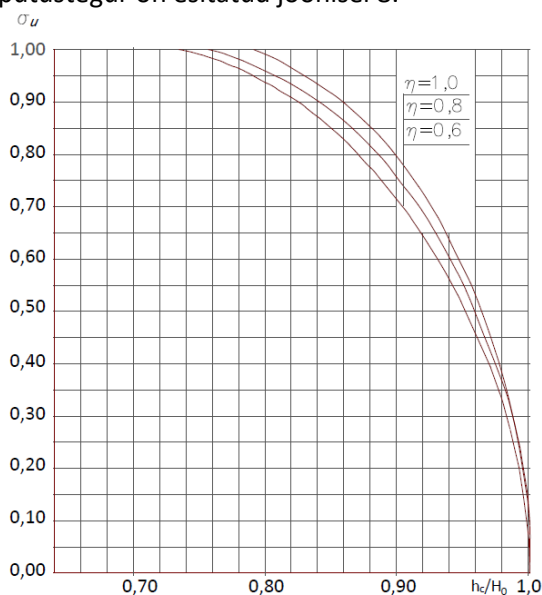
$$H_p = h_{tr} \left[\frac{H_l}{h_{tr}} + 0,005 \left(\frac{l_{tr}}{h_{tr}} - 20 \right) \left(\frac{H_l}{h_{tr}} \right)^2 \right], \quad (10)$$

kus H_p – surve pika truubi ees;

H_l – surve analoogse lühikese truubi ees

7.4. Kontrollitakse valemiga 10 saadud pika truubi surve vastavust punktides 4.6; 4.10 ja 5.14 esitatud nõuetele. Kui tulemus ei vasta arvutusskeemile, suurendatakse truubi läbimõõtu.

7.5. Uputatud pika truubi uputustegur on esitatud joonisel 8.



Joonis 10. N. Rozanovi graafik surveta pika truubi uputusteguri määramiseks ($\eta = H/d$) [12].

8. Survetruubi läbimõõdu määramine

8.1. Uputamata survetruup dimensioneeritakse valemiga 11:

$$Q = \mu_s \omega_{tr} \sqrt{2g (H_0 + i_{tr} l_{tr} - \eta_s h_{tr})} \quad (11)$$

μ_s – survetruubi vooluhulga tegur, mis üldjuhul arvutatakse valemiga 12,

η_s – tegur, mis arvestab väljavoolul survejaotust, väärtuseks võetakse 0,85 [11].

$$\mu_s = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{sv} + \zeta_l}} \quad (12)$$

ζ_{sv} – kohttakistustegur sissevoolul, päiseta toru jaoks 0,55, lehterotsakule 0,33 ja koonilise sissevooluga lehterotsakule 0,20 [11].

ζ_l – hõõrdetakistustegur arvutatakse valemiga 13:

$$\zeta_l = \frac{2gn^2(l_{tr} - l_{sv})}{R^{1,33}} \quad (13)$$

Kus n – karedustegur,

l_{sv} – truubi sissevooluosa pikkus, kus arvestatakse kohttakistustegurit, võrdub ligikaudu 3,6 h_{tr} ;

8.2. Kui alaveetase (t) on kõrgem truubi laest, siis survetruup dimensioneeritakse valemiga 14:

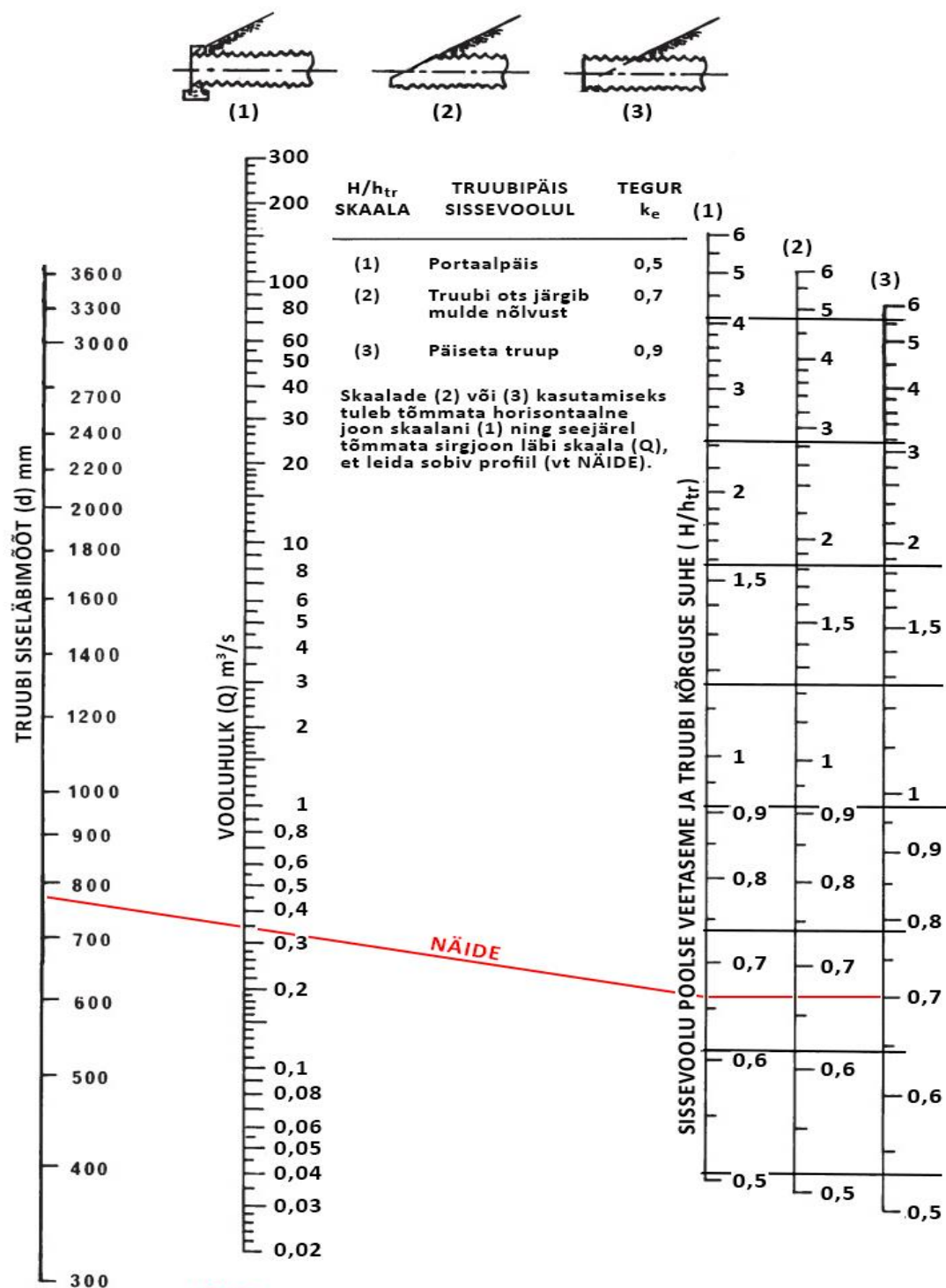
$$Q = \mu_s \omega_{tr} \sqrt{2g (H_0 + i_{tr} l_{tr} - t)} \quad (14)$$

9. Nomogrammid truubi läbimõõdu määramiseks

9.1. Truubi dimensionimiseks on käsiraamatutes esitatud nomogrammid enamlevinud päise tüüpide ja voolurežiimide jaoks.

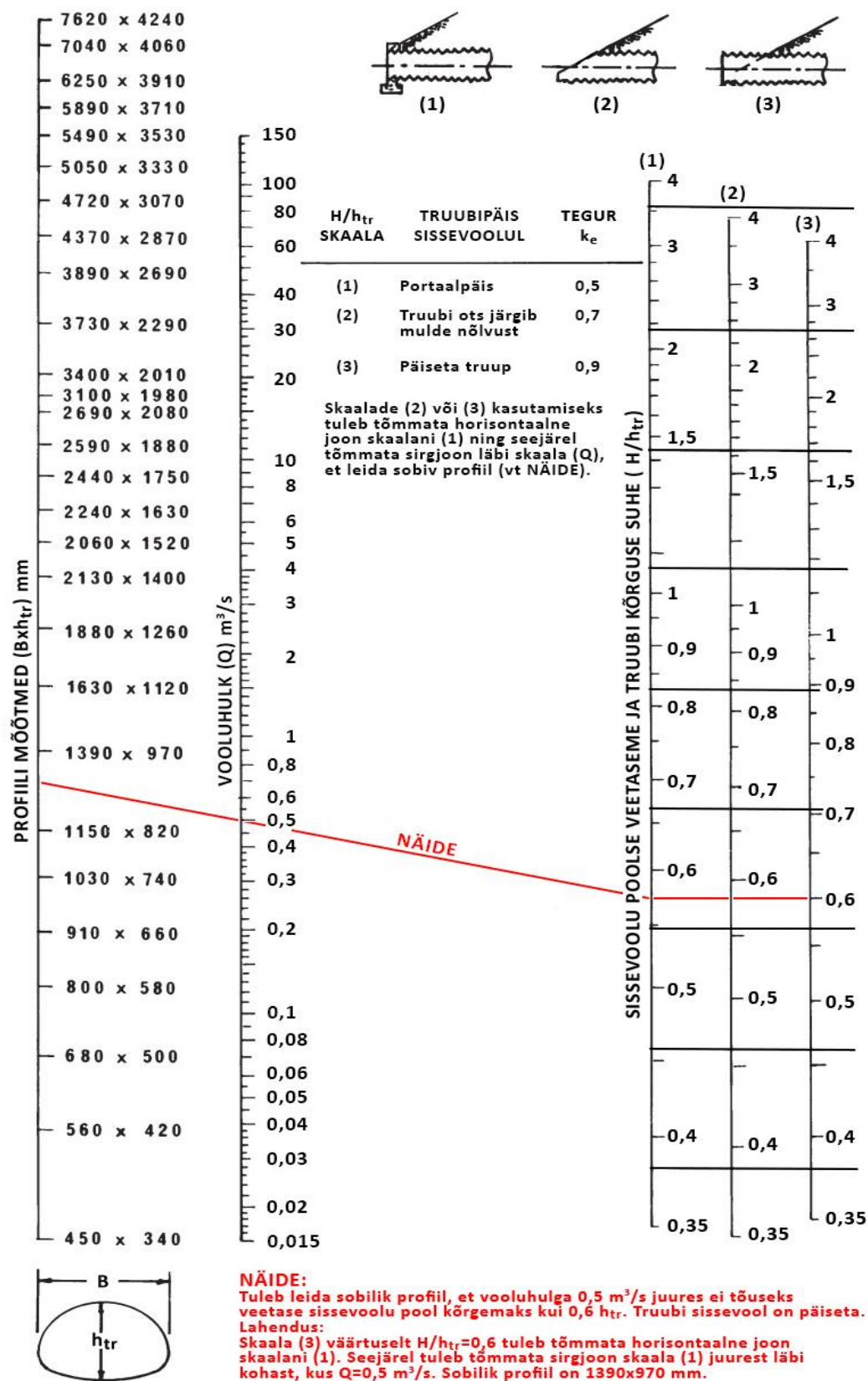
Joonisel 11 ja 12 on toodud USA FHWA (*Federal Highway Administration*) juhendist nomogrammid portaalpäise, kaldpäise ja päiseta truubi jaoks (uputamata lühikese toru arvutuskeem). Arvestades valemite empiiriliste tegurite määramise ebatäpsust nomogrammi koostamisel tehtud mööndusi on viga nomogrammides ülaveetaseme määramisel kuni $\pm 10\%$ [2].

Joonisel 13 on toodud käsiraamatust „Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений“ nomogramm surveta ja poolsurveliste erinevate otsakutega truupide jaoks [11].

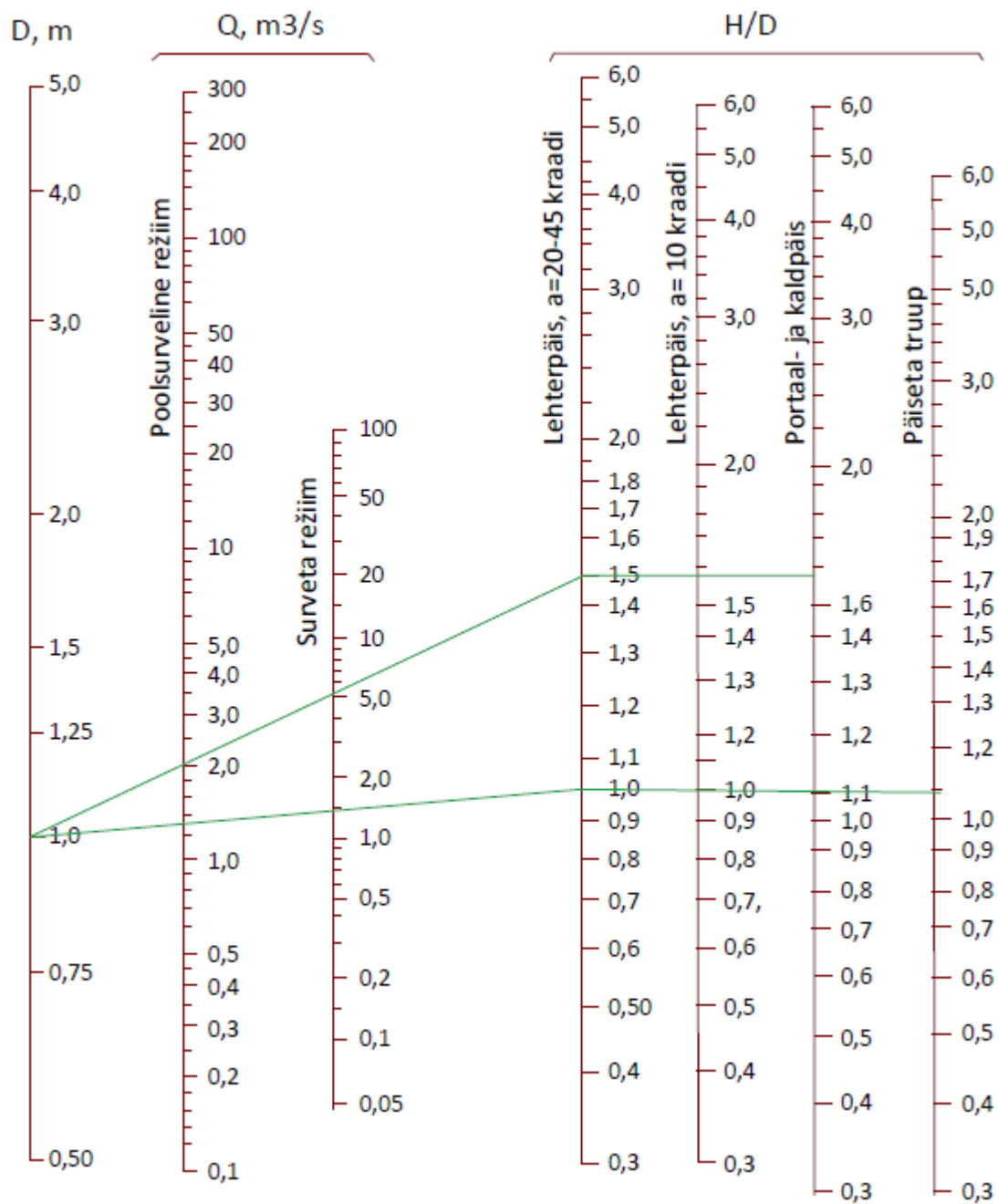


NÄIDE:
Tuleb leida vajalik truubi läbimõõt, et vooluhulga 0,35 m³/s juures ei tõuseks veetase sissevoolu pool kõrgemaks kui 0,7 d. Truubi sissevool on päiseta.
Lahendus:
Skaala (3) väärtuselt H/h_{tr}=0,7 tuleb tõmmata horisontaalne joon skaalani (1). Seejärel tuleb tõmmata sirgjoon skaala (1) juurest läbi kohast, kus Q=0,35 m³/s. Sobilik läbimõõt on 800 mm.

Joonis 11. Nomogramm ringikujulise ristlõikega truubi dimensionimiseks (uputamata, lühike toru, k_e – sissevoolu kohttakistustegur).



Joonis 12. Nomogramm lameprofiilse truubi dimensionimiseks (uputamata, lühike toru, k_e – sissevoolu kohttakistustegur).



Joonis 13. Nomogramm ringikujulise ristlõikega truubi dimensionimiseks (uputamata, lühike toru) [11].

Viidatud kirjandus

1. Balkham, M., Fosbeary, C., Kitchen, A., Rickard, C. Culvert Design and Operation Guide. CIRIA, 2010. 342 p.
2. Hydraulic Design of Highway Culverts. 2012. Publication No. FHWA-HIF-12-026. Hydraulic Design Series No. 5, Third Edition, Washington, D.C. (Scall, J.D., Thompson, P.L., Zerges, S.M., Kilgore, R.T., Morris, J.L.). 323 p.
3. Maastik, A., Haldre, H., Koppel, T., Paal, L. Hüdraulika ja pumbad. Tallinn, 1995. 467 lk.
4. Põllumajandusteede raudbetoontoru truubid. Maaparandusehitiste kordusprojektid II. RPUI „EM“. Tallinn, 1990. 24 lk.
5. Terastoru truupeide projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhend metsateedel. 2016. https://media.rm.ee/files/2016-12-28_RM_K_TRUUBID_1.0.pdf
6. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Kuivatusrakenteet ja putkistot. 6800 – 6870. Tienhallinto. Helsinki, 2004. 62 s.
7. Torusillad. Riigiteedel terasprofiilist truupide ja sildade projekteerimise ja ehitamise juh. https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/ehitus/torusilla_ju-his_01022017_Okk.pdf
8. Üldkasutatavate teede raudbetoontoru truubid. Maaparandusehitiste kordusprojektid III. RPUI „EM“. Tallinn, 1991. 24 lk.
9. USGS, 1968, "Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods," U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chapter A3 (Bodhaine, G.L.).
10. Методические рекомендации по проведению гидравлических расчетов малых ИССО на автомобильных дорогах. ОДМ 2018.082-2017. Москва, 2017. 45 с.
11. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений / ВНИИ транспортного строительства. – Москва, 1992. 408 с.
12. Розанов, Н. П. Гидравлические расчеты водопропускных труб. ВНИИГиМ, Москва, 1979. 69 с.