

# Fráveituhandbók

## Kaflaskipting

1. Inngangur
2. Hönnun og hönnunarforsendur
3. Hreinsun fráveituvatns
4. Lagnaefni
5. Lagning röra
6. Dæling fráveituvatns
7. Endurnýjun eldri kerfa
8. Rekstur lagnakerfa
9. Lög og reglugerðir

# Kaflí 2 Hönnun og hönnunarforsendur fráveitulagna

**Brynjólfur Björnsson, Snorri Sigurjónsson  
og Ásta Ósk Hlöðversdóttir**  
**Nóvember 2010**



**MANNVIT**  
VERKFRÆÐISTOFA

## 2. kafli efnisyfirlit

<b>Kaflí 2</b>	<b>Hönnun og hönnunarforsendur fráveitulagna</b>	<b>2.2</b>
<b>2.1</b>	<b>INNGANGUR</b>	<b>2.4</b>
<b>2.2</b>	<b>RENNSLI Í LÖGNUM</b>	<b>2.4</b>
2.2.1	Almennt	2.4
2.2.2	Rennsli í fullum lögnum	2.4
2.2.3	Rennsli í hlutfylltum lögnum	2.7
2.2.4	Hrýfi í lögnum	2.9
2.2.5	Stök töp í lagnakerfum	2.11
2.2.6	Halli lagna	2.11
<b>2.3</b>	<b>SAMSETNING FRÁVEITUVATNS</b>	<b>2.14</b>
2.3.1	Húsaskólp	2.15
2.3.2	Skólp frá atvinnustarfsemi (iðnaðarskólp)	2.15
2.3.3	Efnasamsetning skólps	2.17
2.3.4	Regnvatn (ofanvatn)	2.17
2.3.5	Innrennslisvatn	2.17
2.3.6	Bakrásarvatn hitaveitu	2.18
2.3.7	Ræsingarvatn	2.18
<b>2.4</b>	<b>SKÓLP - HÖNNUNARRENNSLI</b>	<b>2.19</b>
<b>2.5</b>	<b>REGNVATN - HÖNNUNARRENNSLI</b>	<b>2.21</b>
2.5.1	Úrkomustyrkur	2.22
2.5.2	Lengd hönnunarskúrar - úrkomuvarandi	2.23
2.5.3	Endurkomutími úrkomuatburðar	2.23
2.5.4	Afrennsli regnvatns - afrennslisstuðlar	2.24
2.5.5	Hönnunarrennsli regnvatns	2.25
<b>2.6</b>	<b>HÖNNUN FRÁVEITULAGNA</b>	<b>2.26</b>
2.6.1	Stærðarákvörðun lagna	2.26
2.6.2	Planlega	2.26
2.6.3	Hæðarlega	2.27
2.6.4	Afrennslisvæði	2.27
2.6.5	Tengingar fráveitulagna	2.28
2.6.6	Brunnar	2.28
2.6.7	Götuniðurföll og svelgir	2.29
2.6.8	Önnur mannvirki í fráveitulagnakerfum	2.30
<b>2.7</b>	<b>GRUNDUN FRÁVEITULAGNA</b>	<b>2.33</b>
<b>2.8</b>	<b>HERMUN Í TÖLVUFORRITUM</b>	<b>2.34</b>
<b>2.9</b>	<b>SKIL Á GÖGNUM</b>	<b>2.35</b>
<b>2.10</b>	<b>HEIMILDASKRÁ</b>	<b>2.36</b>
<b>2.11</b>	<b>VIÐAUKI – 1M5 KORT</b>	<b>2.38</b>

## 2.1 INNGANGUR

Í lögum nr. 9/2009 um uppbyggingu og rekstur fráveitna (1) er fráveita skilgreind á eftirfarandi hátt:

Leiðslukerfi og búnaður til meðhöndlunar og hreinsunar skólps. Til fráveitu telst allt lagnakerfi sem flytur frárennsli frá heimilum, stofnunum, atvinnufyrirtækjum, götum, gönguleiðum, lóðum og opnum svæðum, svo sem tengingar við einstakar fasteignir, niðurföll, svelgir, brunnar, safnkerfi, tengiræsi, sniðræsi, stofnlagnir, yfirföll og útræsi. Til fráveitu teljast einnig öll mannvirki sem reist eru til meðhöndlunar eða flutnings á frárennsli, svo sem hreinsivirki, dælu- og hreinsistöðvar og set- og miðlunartjarnir.

Í þessum kafla er fjallað um fráveitulagnir og mannvirki tengd þeim. Hér er einungis fjallað um sjálfrennislagnir (e. gravity conduit), þ.e. ekki er um að ræða lagnir undir þrýstingi. Fjallað verður um þrýstilagnir í kaflanum um dælingu fráveituvatns.

Fráveitukerfi geta annaðhvort verið einföld kerfi (blandkerfi) eða tvöföld kerfi. Í einföldum fráveitukerfum rennur bæði skólþ og regnvatn í sömu lögnum. Í tvöföldum fráveitukerfum er sér lög fyrir skólþ og önnur fyrir regnvatn. Í dag eru eingöngu lögð tvöföld fráveitukerfi á Íslandi í nýjum hverfum. Þar sem einföld fráveitukerfi eru endurnýjuð í eldri hverfum er matsatriði hvort lagt er einfalt eða tvöfalt fráveitukerfi. Textinn í þessum kafla er sniðinn að tvöföldum fráveitukerfum.

## 2.2 RENNSLI Í LÖGNUM

### 2.2.1 Almennt

Við útreikning á rennsli í fráveitulögnum eru notaðar sömu aðferðir og fyrir hreint vatn, þ.e. ekki er tekið tillit til fastra efna (óhreininda) í vatninu.

Reiknað er með að rennsli sé stöðugt (e. steady) og jafnt (e. uniform) við nær alla útreikninga. Við útreikning á stökum töpum (t.d. í brunnum) er rennsli ekki jafnt. Hins vegar er að öllu jöfnu ekki tekið tillit til stakra tapa í handútreikningum. Rennslisreikningar í tölvuforritum taka hins vegar yfirleitt tillit til stakra tapa.

Með stöðugu rennsli er átt við að straumhraði (og þar með rennsli) í hverjum punkti

breytist ekki með tíma, að  $\frac{dv}{dt} = 0$ , þar sem  $v$  er straumhraði og  $t$  er tími.

Með jöfnu rennsli er átt við að straumhraði er jafn frá einum punkti til annars í straumátt (rennsli er eins alls staðar í lögnum, þ.e. sami straumhraði er alls staðar í lögnum),

að  $\frac{dv}{dx} = 0$ , þar sem  $v$  er straumhraðinn og  $x$  er vegalengd eftir lögnum.

### 2.2.2 Rennsli í fullum lögnum

Til þess að reikna rennsli í fullum lögnum eru almennt notaðar tvær aðferðir, annars vegar beina Mannings jafnan, og hins vegar Colebrook-White jafnan sem leyst er með ítrun, eða með því að notast við gröf.

Manning jafnan gildir almennt fyrir rennsli í opnum farvegum.

$$Q = M \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

þar sem

Q = rennsli í lögninni (m<sup>3</sup>/s)

M = Manning stuðullinn (m<sup>1/3</sup>/s)

A = þversniðsflatarmál rörsins (m<sup>2</sup>)

R = hydraulískur radíus (m)

I = halli farvegar (m/m).

Hydraulískur radíus er skilgreindur sem

$$R = \frac{A_{bl}}{P} \quad (1.2)$$

þar sem

A<sub>bl</sub> = þversniðsflatarmál vatnsins

P = blautt ummál (m).

Manning stuðullinn er mælikvarði á hrýfi rörsins og samkvæmt Aflöbsteknik (2) má nálga tengslin með eftirfarandi formúlu

$$M = \frac{25,4}{\sqrt{k}} \quad \text{fyrir} \quad 4,7 < \frac{R}{k} < 300 \quad (1.3)$$

þar sem

M = Manning stuðullinn (m<sup>1/3</sup>/s)

k = hrýfi (m)

R = hydraulískur radíus (m).

Colebrook-White jafnan er einnig notuð til útreikninga á fullum lögnum, en þar sem ítrunar er þörf er notast við línurit við stærðun (e. dimensioning). Samkvæmt danska staðlinum DS 432:2000 (3) má setja jöfnuna fram á eftirfarandi formi

$$q_f = -6,95 \log \left( \frac{0,74}{d_{di} \sqrt{d_{di} I} \cdot 10^6} + \frac{k}{3,71 \cdot d_{di}} \right) \cdot d_{di}^2 \sqrt{d_{di} I} \quad (1.4)$$

þar sem

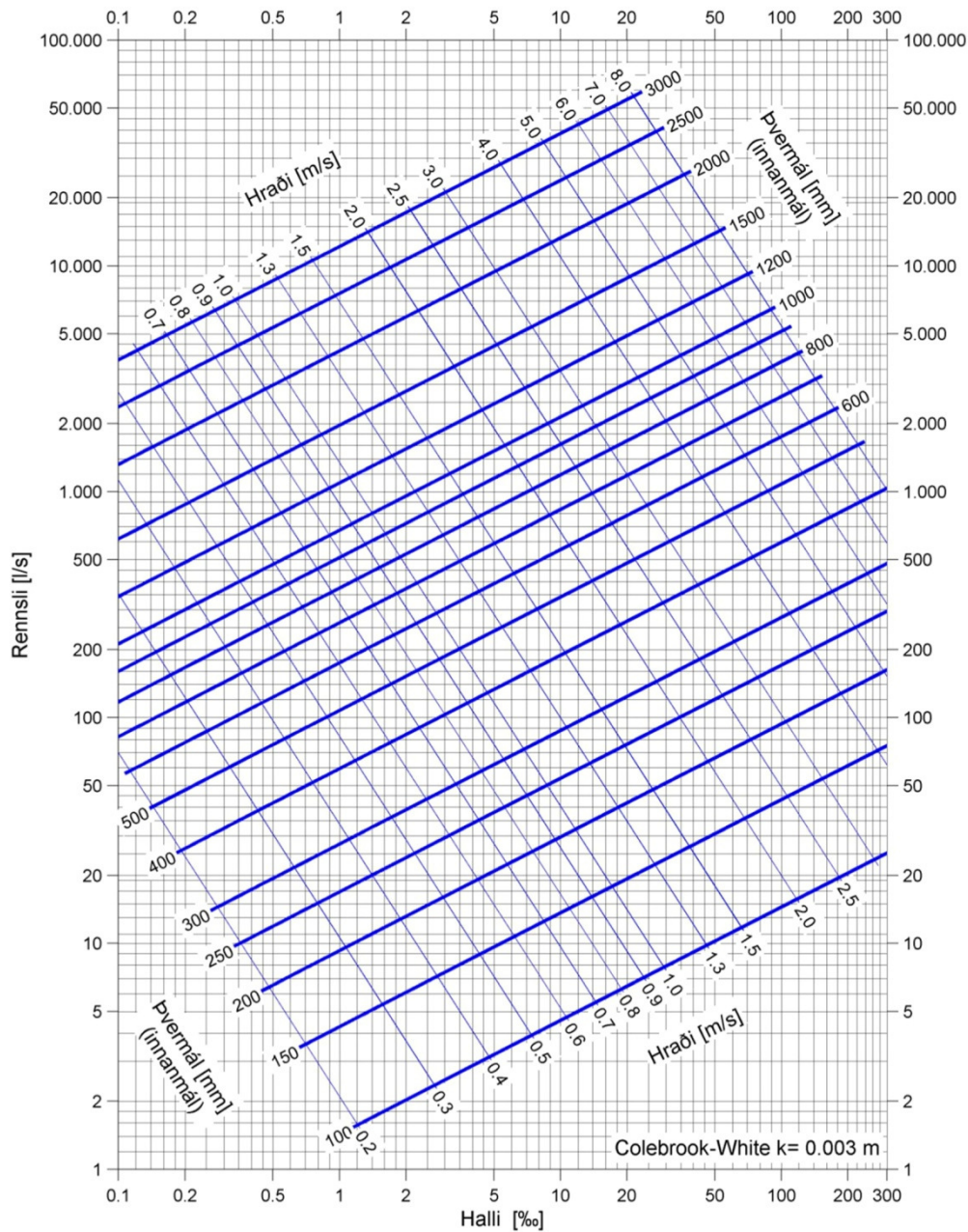
q<sub>f</sub> = rennsli í fullri lögn (m<sup>3</sup>/s)

I = halli lagnar (m)

k = hrýfi (m)

d<sub>di</sub> = innra þvermál lagnar (m).

Mynd 1 sýnir stærðunargraf byggt á jöfnu (1.4).



Mynd 1: Stærðunargraf fyrir fullar fráveitulagnir byggt á Colebrook-White (DS 432:2000) (3). Hrífíð er 3 mm og gefið er upp innra þvermál.

**Dæmi 1:**

Hvert er hámarksrennsli pípu sem er Ø500mm í þvermál með 3 mm hrýfi og 10‰ halla?

**Lausn:**

Manning

Með því að nota jöfnu (1.3) fæst Manning stuðullinn 67. Hydraulíski radíusinn fyrir fulla hringlaga pípu er

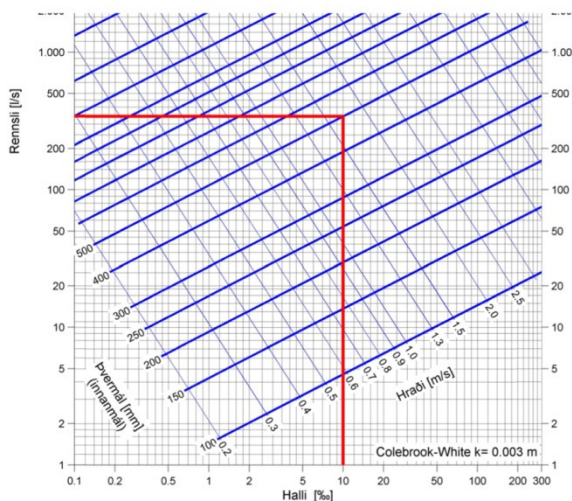
$$R = \frac{A_{Bl}}{P} = \frac{d^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi}{d \cdot \pi} = \frac{d}{4}$$

Manning jafnan gefur þá

$$Q = 67 \cdot 0,5^2 \frac{1}{4} \pi \cdot \left(\frac{0,5}{4}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 0,01^{\frac{1}{2}} = 0,329 \frac{m^3}{s} = 329 \text{ l/s}$$

**Colebrook – White**

Hámarksrennslið er hægt að lesa beint af stærðunargrafinu með því að teikna beina línu frá 10 ‰ á x-ásnum að línunni fyrir Ø500 mm pípu, eins og gert hefur verið á mynd 2. Samkvæmt stærðunargrafinu þá er rennslið um 340 l/s sem er sambærilegt við niðurstöður Manning jöfnunnar.



Mynd 2 Dæmi um hvernig má nota stærðunargraf

**2.2.3 Rennsli í hlutfylltum lögnum**

Colebrook-White stærðunargrafið gildir aðeins fyrir fullar pípur en á þægilegan hátt er hægt að nota línurit eins og á mynd 3 fyrir hlutfylltar lagnir, þ.e. lagnir sem ekki eru fullar. Línuritið er byggt á reynsluformúlu Brettings

$$\frac{Q}{Q_f} = 0,46 - 0,5 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{y}{d}\right) + 0,04 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{y}{d}\right) \quad (1.5)$$



þar sem

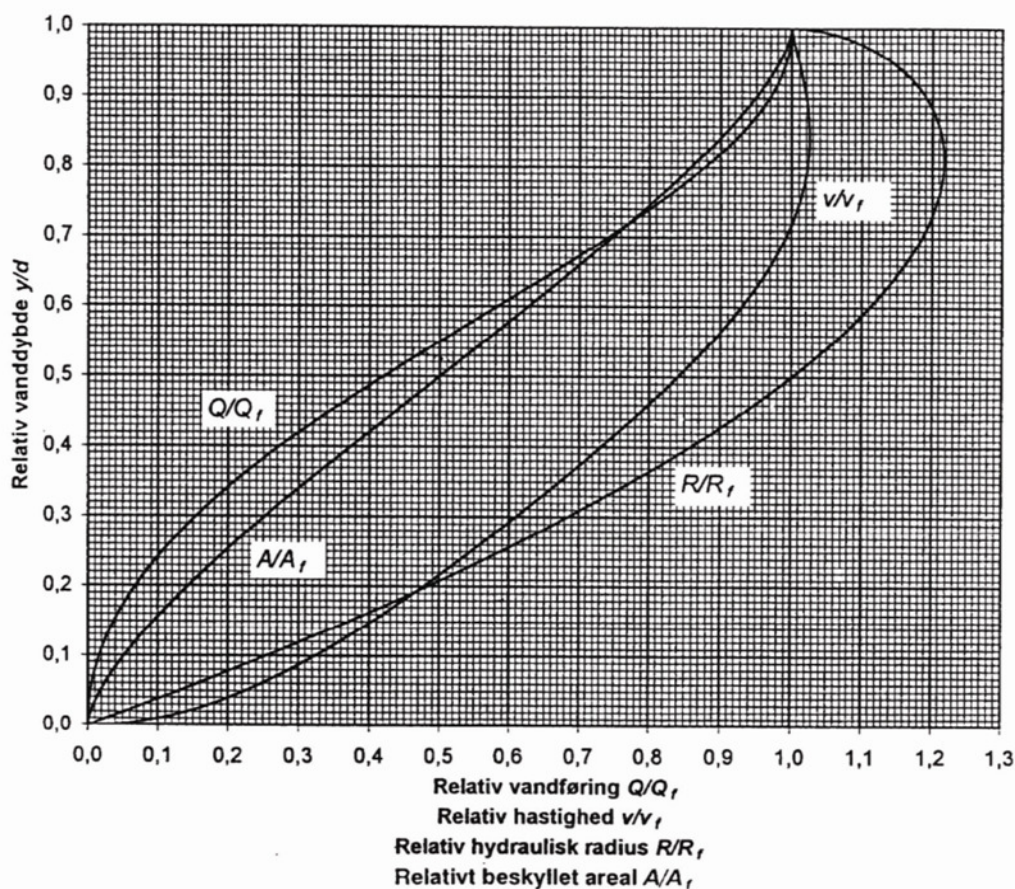
$Q$  = rennsli í hlutfylltri lögn

$Q_f$  = rennsli í fullri lögn

$y$  = vatnshæð í lögninni

$d$  = þvermál lagnarinnar.

Á línuritinu eru línur fyrir hlutfallslegt rennsli ( $Q/Q_f$ ), hraða ( $v/v_f$ ), hydraulískan radius ( $R/R_f$ ) og hlutfallslegt flatarmál ( $A/A_f$ ).



Mynd 3: Brettings línurit fyrir hlutfylltar lagnir (2)

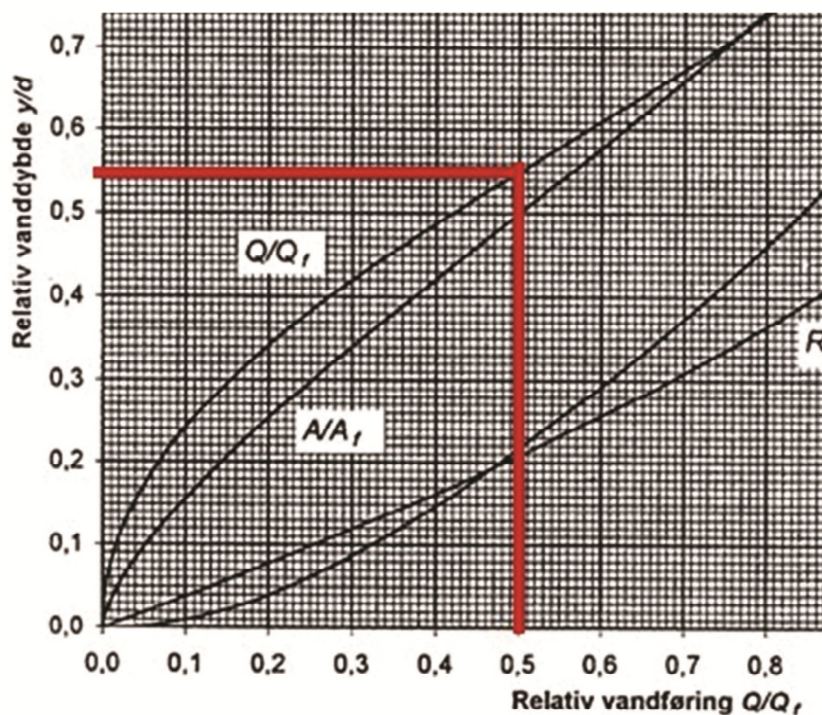
### Dæmi 2:

Hvert er vatnsdýpið í  $\varnothing 500$  mm fráveitulögn með 10 prómilla halla þegar rennslið í henni er 165 l/s (helmingurinn af flutningsgetunni) ?

### Lausn:

Skv. dæmi 1 er flutningsgeta  $\varnothing 500$  mm lagnar u.þ.b. 330 l/s og því er 165 l/s helmingurinn af flutningsgetunni, þ.e.  $Q/Q_f$  er 0,5. Af línuritinu má sjá að 0,5 á x áskerst við  $Q/Q_f$  línu þar sem  $y/d$  er 0,55. Dýpið í lögninni er því

$$y = d \cdot 0,55 = 500 \text{ mm} \cdot 0,55 = 275 \text{ mm}$$



Mynd 4: Dæmi um hvernig má nota Brettings línurit

### 2.2.4 Hrófi í lögnum

Hrófi lagnar hefur mikil áhrif á flutningsgetu. Með hrófi er átt við hrjúfleika lagnarinnar (að innan). Framleiðendur gefa oft upp hrófi fyrir sín rör. Slíkum hrófstöllum ætti alltaf að taka með mikilli varúð því að það hrófi miðast oftast en ekki við hreint vatn í röri við nær fullkomnar aðstæður. Raunhrófi fráveitulagna (kerfishrófi lagnakerfa) er yfirleitt meira en hrófi gefið upp af framleiðendum röra.

Með tímanum sest innan á fráveitulagnir slímlag, svokölluð klóakhúð, sem eykur hrófið.

Sandur, mól og annað efni sem sest fyrir í botni lagna (t.d. ef sjálfhreinsun lagna er ekki nægjanleg), lagnasamskeyti, greinstykki, gallar við lagningu, sig á lögnum, rætur sem vaxa inn í lagnirnar og annað slíkt dregur úr flutningsgetu lagna. Til að taka tillit til minni flutningsgetu vegna þessara atriða er gott að nota hærra kerfishrófi lagnakerfa við útreikninga.

Höfundar vita ekki til þess að íslenskar rannsóknir hafi verið gerðar á raunhrófi fráveitukerfa. Víða erlendis hafa verið gerðar slíkar rannsóknir. Danska verkfræðistofan PH-Consult tók árið 2001 saman þær rannsóknir sem gerðar hafa verið á hrófi. Helstu niðurstöður þeirra má sjá í töflu 1. Þar má m.a. sjá að hrófi steyptra skólplagna er meira en regnvatnslagna við meiri hraða en 1 m/s en enginn marktækur munur er á hrófi regnvatnslagna eftir því hvort um er að ræða steyptr eða plaströr.

**Tafla 1: Tillögur PH-Consult um hrýfi sýndar í efri línu auk niðurstaða úr rannsókn þeirra, sýndar innan sviga, vf er hraði í fullum lögnum (4).**

	k [mm]		
	vf < 1 m/s	vf > 1 m/s	
		Skólplagnir	Regnvatnslagnir
Steypt rör	3,0 (0,5-6,0)	1,5 (1,0-2,0)	0,6 (0,5-1,0)
Plaströr	1,5 (1,0-2,0)	0,6 (0,5-1,0)	0,6 (0,3-1,0)

Kanadísk rannsókn (5) sýnir að hrýfi skólplagna sé mjög breytilegt og háð m.a. lagnahalla, lagnaefni og hlutfalli venjulegs þurrviðrisrennslis af hönnunarrennslis lagnarinnar. Niðurstaða þessarar rannsóknar er að þar sem að venjulegt þurrviðrisrennslis er stór hluti hönnunarrennslisins og lagnahalli er lítill (<10%) er hrýfi skólplagna mjög hátt ( $k_s = 3$  mm fyrir PVC rör og  $k_s = 7$  mm fyrir steinsteyptrör) á meðan að fyrir meiri halla (>10%) er hrýfið mun lægra ( $k_s = 0,2$  mm fyrir PVC rör og  $k_s = 0,6$  mm fyrir steinsteyptrör).

Ljóst er að ofangreindu að ákvörðun hönnunarhrýfis fráveitulagna (lagnakerfa) er ekki einfalt mál. Ljóst er að ekki er raunhæft að nota tölur frá framleiðendum. Raunhrýfi sem heppilegt er að nota við hönnun er á bilinu 1-3 mm.

*Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að nota **3 mm hrýfi** við hönnun, óháð lagnaefni og öðrum breytum*

### Dæmi 3.

Áhrif hrýfis á flutningsgetu lagnar.

Hvað ber full Ø250 mm lögna með 20 prómilli halla mikið magn af fráveituvatni annars vegar með 0,5 mm hrýfi og hins vegar hrýfi upp á 4 mm?

### Lausn

Notum Manning jöfnuna  $Q = M \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$  til að reikna úr rennslis í fullri lögna. Nota

þarf jöfnu 1.3 sem gefur  $M = \frac{25,4}{\sqrt[5]{0,0005}} = 90$  fyrir  $k=0,5$ mm. Hydraulískur radíus fyrir fullar hringlaga pípur  $R=d/4$  (sjá dæmi 1), og því er.

$$Q = M \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 90 \cdot \pi \cdot \frac{0,25^2}{4} \cdot \left(\frac{0,25}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0,02^{\frac{1}{2}} = 98 \frac{l}{s}$$

Ef hrýfið er 4 mm er  $M=64$  og  $Q=70$  l/s.

Við  $k=0,5$  mm er flutningsgeta lagnarinnar u.þ.b. 40% meira en við  $k = 4$  mm!

Skilyrðið  $4,7 < \frac{R}{k} < 300$  er uppfyllt fyrir bæði  $k = 0,5$  mm og  $k = 4$  mm

### 2.2.5 Stök töp í lagnakerfum

Orkutap í lögnum er bæði lagnatap og stök töp. Stök töp verða m.a. í brunnnum og öðrum mannvirkjum (t.d. í yfirföllum), þar sem hliðarlagnir koma inn og þar sem lagnapversnið breytast. Stök töp er háð hraða í öðru veldi sem þýðir að því meiri hraði sem er í lögnum því meira orkutap verður vegna stakra tapa:

$$h_L = \kappa \frac{v^2}{2g} \quad (1.6)$$

Hér er

$h_L$  = orkutap (m) vegna stakra tapa

$v$  = hraði (m/s)

$g$  = þyngdarhröðun ( $m/s^2$ )

$\kappa$  = reynslustuðull á bilinu 0-1 sem ákvarðaður hefur verið fyrir ólíkar aðstæður (dæmi um slíka stuðla má sjá í (2) og (6)).

Handútreikningar á stökum töpum eru alltaf háðir mikilli óvissu og við hönnun almennra fráveitulagna er yfirleitt ekki tekið tillit til stakra tapa Til þess að það sé forsvaranlegt að sleppa því að taka tillit til stakra tapa þarf að hanna fráveitulagnir á straumfræðilega skynsamlegan hátt, t.d. með því að hafa ekki of háan rennslisraða í rörum, mjúka kanta í brunnnum og öðrum mannvirkjum, og ekki miklar óþarfar þversniðsbreytingar í lögnum. Einnig þekkt að setja stalla í brunna (t.d. 50-100 mm) til að vega upp stöku töpin. Ef þörf er á að skoða stök töp er oftast notuð tölvuforrit til þess.

### 2.2.6 Halli lagna

#### 2.2.6.1 Lágmarkshalli

Fráveitulagnir skal ekki hanna og leggja með of litlum halla. Ástæðan fyrir því er fyrst og fremst að lagnirnar þurfa að geta hreinsað sig sjálfar. Ef lagnir ná ekki að hreinsa sig sjálfar sest fyrir sandur, mól og ýmislegt annað í lögnum og flutningsgeta þeirra minnkar, ólykt getur lagt frá þeim, og þær geta auðveldlega stíflast. Auk þess minnkar flutningsgeta lagna við minni halla, og því þarf stærri og dýrari lagnir þar sem halli er lítill. Mikilvægt er að hafa í huga ónákvæmni við lagningu lagna úi í mörkinni. Frá hönnuðum halla getur frávik verið 0,5-2,0 prómill, sem við mjög lítinn halla gæti þýtt að lögnin væri lögð með öfugum halla!

Í gegnum tíðina hefur hraði í lögnum oft verið notaður sem mælikvarði á sjálfhreinsun. Í Evrópustaðlinum EN 752 (7) er til að mynda sett lágmarkskrafan 0,7 m/s. Með því að nota hraðann er þó ekki tekið tillit til þátta eins og stærðar pípunnar og eiginleika skólpsins.

Skúfspenna (skerspenna) milli fráveituvatnsins og lagnarinnar er því hentugri mælikvarði á hvort lagnir náí að hreinsa sig.

Notuð er jafnan:

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot J \quad (1.7)$$

þar sem

$\sigma$  = skúfspennan ( $N/m^2$ )

$\gamma$  = eðlisþyngd fráveituvatnsins ( $N/m^3$ )

R = hydraulískur radíus (m)

I = halli lagnarinnar (m/m).

Ýmsar rannsóknir hafa verið gerðar á því hve mikilli skúfspennu þurfi að ná reglulega til þess að lagnir séu sjálfhreinsandi. Eins og sjá má í töflu 2 þá þarf hærri skúfspennu fyrir regnvatn enda eru þar oft þyngri efni eins og sandur og möl á ferð. Flestir mæla með að nota 3,0-4,0  $N/m^2$  skúfspennu fyrir regnvatn og 1,0-2,5  $N/m^2$  fyrir skólp.

**Tafla 2: Yfirlit yfir skúfspennu sem nást þarf til þess að lagnir séu sjálfhreinsandi**

	Regnvatn [ $N/m^2$ ]	Skólp [ $N/m^2$ ]	Heimild
Noregur	3-4	2	(8)
Svíþjóð		1,5	(9)
Danmörk	1,5	2,5	(3)
Bandaríkin	3-4	1-2	(10)
Bretland	3-4	1-2	(11)

**Tafla 3: Yfirlit yfir hve oft mælt er með að skúfspenna náist á Norðurlöndunum**

	Regnvatn	Skólp		Heimild
	Tíðni	Tími	Tíðni	
Noregur		10% af tímanum	1x á dag	(8)
Svíþjóð		1 klst	1 x á dag	(9)
Danmörk	Aðra hverja viku		1x á dag	(3)

Skúfspennan þarf að nást nægjanlega oft, þ.e. ekki má líða of langur tími milli þess að ofangreind skúfspenna náist. Hún þarf líka að haldast nægjanlega lengi þannig að sandur og möl o.fl. sem sest fyrir á botni lagnarinnar nái að hreinsast út úr lögnum.

Orkuveita Reykjavíkur telur ekki þörf til að kanna skúfspennu í lögnum ef halli þeirra er eins og sýnt er í töflu 4.

**Tafla 4: Halli lagna sem tryggir sjálfhreinsun skv. Orkuveitu Reykjavíkur (12)**

- Ø150 mm	10 ‰	
- Ø200 mm	8 ‰	
- Ø250 mm	5 ‰	15 ‰ ef endalögn
- Ø300 mm og stærri	4 ‰	
- Heimæðar	20 ‰	(lágmarksstærð heimæða Ø150 mm)

Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að nota 3-4 N/m<sup>2</sup> skúfspennu fyrir regnvatn og 1-2,5 N/m<sup>2</sup> fyrir skólþ

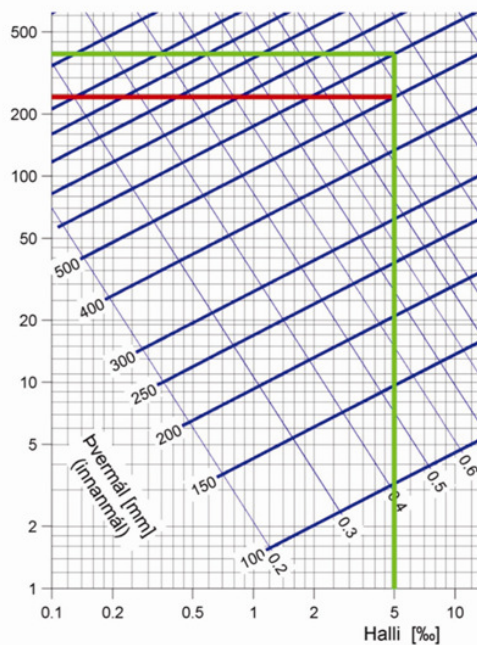
#### Dæmi 4

Hver er skerspennan í lögn í annars vegar Ø500 lögn og hinsvegar Ø600 lögn (einni stærð ofar), ef rennslið er 10 l/s og hallinn 5‰?

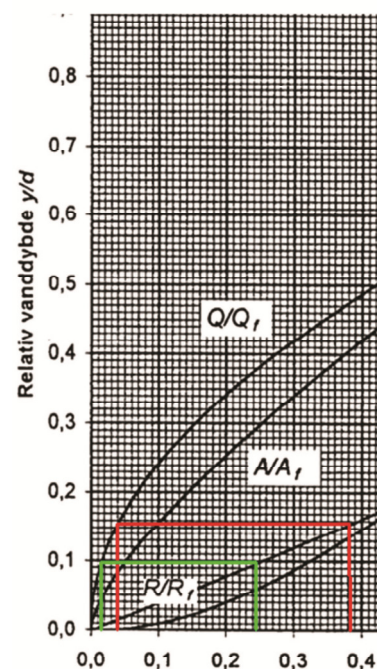
#### Lausn

Það sem hér þarf að finna er hydraulískur radíus fyrir hvora lögn. Það er hægt að gera með því að nota Brettings línurit fyrir hlutfylltar lagnir. Til þess að finna hlutfallið  $Q/Q_f$  þarf fyrst að finna rennsli í fullum lögnum. Mynd 5 sýnir að

	$Q_f$	$Q/Q_f$
Ø500	240 l/s	$10/240 = 0,042$
Ø600	390 l/s	$10/390 = 0,026$



Mynd 5: Dæmi 4 – Stærðunargraf fyrir Ø500 (rauð lína) og Ø600 (græn lína)



Mynd 6: Dæmi 4 – Brettings línurit fyrir Ø500 (rauð lína) og Ø600 (græn lína)

Mynd 6 sýnir hvernig lesa má af Brettings línuritinu hydraulískan radíus. Dregin er lína frá Q/Qf gildum á x-ás upp í Q/Qf línuna. Þá er dregin bein lína að R/Rf línunni og niður að x-ás og þar R/Rf gildin lesin af.

	R/Rf	Rf	R
<b>Ø500</b>	0,38	D/4=125 mm	038 · 125=47,5 mm
<b>Ø600</b>	0,24	D/4=150 mm	0,38 · 150=36 mm

Þá er skúfspennan reiknuð út skv. jöfnu 1.7

$$\tau_{500} = \gamma \cdot R \cdot I = 9810 \text{ N/m}^3 \cdot 0,0475 \text{ m} \cdot 0,005 = 2,32 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_{600} = \gamma \cdot R \cdot I = 9810 \text{ N/m}^3 \cdot 0,0360 \text{ m} \cdot 0,005 = 1,76 \text{ N/m}^2$$

Eins og sjá má minnkar skúfspennan um 24% við að fara upp um eina lagnastærð.

### 2.2.6.2 Hámarkshalli

Halli lagna má ekki vera of mikill. Því meiri sem vatnshraðinn er, því meiri hættu er á sliti á botni lagna vegna agna (sandur, mól og annað) sem berast með fráveituvatninu og skrapa innra borð lagnarinnar. Nútíma lagnaefni þola þetta mun betur en eldri lagnaefni. Í dag þarf ekki að hafa áhyggjur af sliti á botni lagna ef vatnshraðinn er minni en 3,5 m/s (2).

Við of mikinn vatnshraða aukast stök töp í lögnum en stærð stakra tapa er í beinu hlutfalli við hraðann í lögninni í öðru veldi.

Aðrar óhagstæðar straumfræðilegar aðstæður geta auk þess skapast við of mikinn halla t.d. holun (e. cavitation), inndráttur loftis í lagnakerfið, brennisteinsvetni losnað úr fráveituvatni og öldumyndun.

Í reynd er halli fráveitulagna yfirleitt minni en 100‰ (8). Fyrir allra minnstu lagnir, svo sem niðurfallegggi og heimæðar er stundum miðað við hámarkshallann 300‰.

Alltaf þarf að skoða sérstaklega hvert tilfelli fyrir sig ef halli lagna er mikill, m.a. skoða hversu mikinn vatnshraða á að miða við.

Ef halli í lagnalegu er of mikill er hægt að taka upp halla í fallbrunnum (sjá kafla 2.6.6)

## 2.3 SAMSETNING FRÁVEITUVATNS

Vatni í fráveitukerfum má skipta upp í eftirfarandi þætti:

- Skólp
  - Húsaskólp
  - Skólp frá atvinnustarfsemi (iðnaðarskólp)
- Regnvatn (ofanvatn)
- Innrennslisvatn
- Bakrásarvatn hitaveitu
- Ræsingarvatn

### 2.3.1 Húsaskólp

Í húsaskólpi er allt sem sett er í klósett og vaska, og allt sem kemur frá uppþotta- og þvottavélum, gólfniðurföllum, baðkerum og sturtum. Góð nálgun er að gera ráð fyrir að magn húsaskólps sé í flestum tilvikum jafnt neysluvatnsnotkuninni.

**Tafla 5: Dæmigert magn húsaskólps í Evrópu (EN 752-4:1997) (7)**

Land	Rennsli (l/dag á íbúa)
Austurríki	200-400
Danmörk	150-250
Frakkland	150-200
Þýskaland	150-300
Portúgal	120-350
Sviss	170-200
Bretland	150-300

Mælingar í Reykjavík hafa sýnt að meðal kaldavatnsnotkun hvers íbúa sé 205 l/dag (13) og heitavatnsnotkun 60 l/dag (14). Hönnunarforsendur Orkuveitu Reykjavíkur gera ráð fyrir að reiknað sé með að magn húsaskólps frá hverjum íbúa sé að meðaltali 270 l/dag (15).

*Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að nota 270 l/dag á íbúa.*

### 2.3.2 Skólp frá atvinnustarfsemi (iðnaðarskólp)

Í skólpi frá atvinnustarfsemi er að finna vinnsluvatn, kælivatn, þvotta- og skolvatn, skólp frá starfsfólki (húsaskólpshluta) frá t.d. klósettaðstöðu, mótuneytum, baðaðstöðu, o.s.frv.. Samspil vatnsnotkunar og skólpmagns fyrir skólp frá atvinnustarfssemi er flóknara en fyrir húsaskólp. Ekki fer allt iðnaðarskólp í skólpagnir, t.a.m. er kælivatn oft sett í regnvatnslagnir. Tímaseinkun getur einnig verið töluverð t.d. þegar látið er leka í ker yfir langan tíma sem síðan eru tæmd á tiltölulega stuttum tíma; eða látið renna í ker á stuttum tíma en það síðan tæmt út í kerfið á löngum tíma.

Aðallega eru farnar tvær leiðir til þess að áætla magn skólps frá atvinnustarfssemi. Annars vegar með því að nota tölur yfir skólpmagn á einingu, svo sem á starfsmann eða rúm, sjá töflu 6, eða á framleidda einingu, sjá töflu 7.

**Tafla 6: Dæmi um skólpmagn frá þjónustustarfsemi (16)**

	Skólpmagn (l/dag)	Eining
Skólar	22 - 27	Nemandi
Vinnustaðir	41 - 55	Starfsmaður
Sjúkrahús	411 - 685	Rúm
Dvalarheimili	274 - 411	Rúm
Hótel	164 - 274	Rúm
Veitingastaðir	274 - 411	Starfsmaður

**Tafla 7: Dæmi um skólpmagn frá iðnaði (16)**



	Skólp magn (l/tonn)
Fiskvinnsla	4000-8000
Sláturhús	3000-8000
Ullarvinnsla	50000 - 100000

Erfitt er að áætla svo vel sé skólp magn frá atvinnustarfsemi (sérstaklega frá stórum svæðum) með þessum aðferðum. Hafa skal í huga að á líftíma fráveitulagna getur margs breyst (sjá kafla 2.4).

Einnig er hægt að áætla magn skólps frá atvinnustarfsemi á flatareiningu, en það er sú leið sem Orkuveita Reykjavíkur valdi að fara, sjá töflur 8 og 9. Athuga skal að þessar töflur skal alltaf nota með ítrustu varúð og skoða þarf sérstaklega hvert tilfelli fyrir sig. Ef ekki liggja fyrir betri upplýsingar, og ekki er búist við sérstaklega vatnsfrekri atvinnustarfsemi má styðjast við töflurnar.

Hjá starfsleyfisskyldri atvinnustarfsemi geta ákvæði í starfsleyfi takmarkað efnainnihald skólps sem fyrirtæki mega láta frá sér til fráveitukerfa. Það getur þýtt að fyrirtæki verði að forhreinsa skólp áður en því er veitt í fráveitukerfi.

Eðlilegt er að fráveita geti einnig takmarkað það magn fráveituvatns sem berst frá vatnsfrekri atvinnustarfssemi. Það þekkist víða erlendis.

Sjálfsgætt er að leita samráðs um magn og efnainnihald skólps frá atvinnustarfsemi sem leyfilegt/æskilegt er að veita í fráveitukerfi, þar sem um vatnsfreka starfsemi er að ræða eða þar sem efnainnihald skólps er óvenjulegt (t.d. þar sem tærandi efni eru í skólpi eða styrkur efna er mjög mikill).

**Tafla 8: Skólp frá þjónustustarfsemi eftir álagsflokkum OR (15)**

Þjónustustarfsemi	Magn (l/s/hektara)		Dæmi
	Meðalrennsli	Mesta rennsli	
Álagsflokkur 1	0,05	0,5	Lágreist skrifstofu- og verslunarhúsnæði
Álagsflokkur 2	0,15	1,0	Háreist skrifstofu- og verslunarhúsnæði
Álagsflokkur 3	0,20	1,5	Matsölustaðir

**Tafla 9: Iðnaðarskólp eftir álagsflokkum OR (15)**

Iðnaðarskólp	Magn (l/s/hektara)		Dæmi
	Meðalrennsli	Mesta rennsli	
Álagsflokkur 1	0,15	1,0	Iðnaður með litla vatnsnotkun
Álagsflokkur 2	0,20	1,5	Meðalvatnsfrekur iðnaður
Álagsflokkur 3	0,25	2,0	Matvælaíðnaður og annar vatnsfrekur iðnaður

*Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að nota álagsflokka OR til þess að áætla magn skólps frá atvinnustarfsemi.*

### 2.3.3 Efnasamsetning skólps

Skólp inniheldur margvísleg efni. Í húsaskólpi eru t.d. matarleifar, þvag og saur, þvottaefni og ýmis kemísk efni. Innihald iðnaðarskólps fer eftir þeim iðnaði sem um er að ræða. Frá matvælavinnslu berst t.d. mjög mikið af lífrænum efnum. Tafla 10 sýnir helstu flokka efna sem finnast í skólpi, uppsprettur þeirra og tengd vandamál.

**Tafla 10: Efni sem finnast í skólpi, uppsprettur þeirra og tengd vandamál (2).**

Efnaflokkur	Helstu uppsprettur	Vandmál/umhverfisáhrif/eiturvirkni
Svifagnir (SS)	Húsa- og iðnaðarskólp	Sest fyrir í fráveitukerfum, mannvirkjum og viðtökum. Getur verið heilsuspillandi og minnkað flutningsgetu
Efni sem nota súrefni, lífræn efni (BOD, COD), ammóníum	Húsa- og iðnaðarskólp	Minnkar súrefnisinnihald viðtaka – getur valdið dauða lífvera í viðtaka
Næringarefni, köfnunarefni (N) og fosfór (P)	Húsa- og iðnaðarskólp	Getur valdið þörungablóma – stuðlar að minnkun súrefnis í viðtaka
Ólífræn eiturefni, t.d ammoniak og brennisteinsvetni	Húsa- og iðnaðarskólp	Eituráhrif á fiska og önnur dýr
Þungmálmar	Iðnaðarskólp	Eituráhrif vegna uppsöfnunar
Skordýraeitur, lífræn leysiefni o.s.frv.	Iðnaðarskólp	Eituráhrif
Örverur	Húsaskólp	Útbreiðsla smitsjúkdóma

### 2.3.4 Regnvatn (ofanvatn)

Hluti úrkomu sem fellur á vatnasvið fráveitukerfa endar í fráveitulögnum annað hvort stuttu eftir úrkomuatburð (ef rignir) eða síðar (snjóbráðnun, hláka). Hluti úrkomunnar sígur niður í jarðveg, hluti hennar gufar upp og hluti safnast saman í polla o.s.frv. Þéttir fletir (t.d. malbikaðar götur og þök) skila meiri úrkomu í fráveitukerfi en óþéttir fletir (t.d. gróin svæði og malarsvæði) Útreikningar á afrennsli vegna regnvatns geta verið mjög flóknir, og fyrir stærri kerfi er ekki um annað að ræða en hermun í tölvulíkunum (t.d. Mike Urban).

Skv. reglugerð 798/1999 um fráveitur og skólp (grein 9.6) getur heilbrigðisnefnd krafist hreinsunar á ofanvatni (regnvatni).

### 2.3.5 Innrennslisvatn

Fráveitulagnir eru aldrei alveg þéttar. Jafnvel þó lekaprófun við uppbyggingu sýni að nýlagðar lagnir séu þéttar, breytist það á líftíma lagnarinnar. Innrennslisvatn getur verið grunnvatn þar sem grunnvatnsyfirborð er hærra en lagnirnar, frá lekum vatnslögnum sem yfirleitt eru lagðar ofar í sama skurð og fráveitulagnir, eða innrennsli regnvatns og ræsingarvatns inn í skólplagnir. Mynd 7 sýnir dæmi um innrennslisvatn í skólplögn.

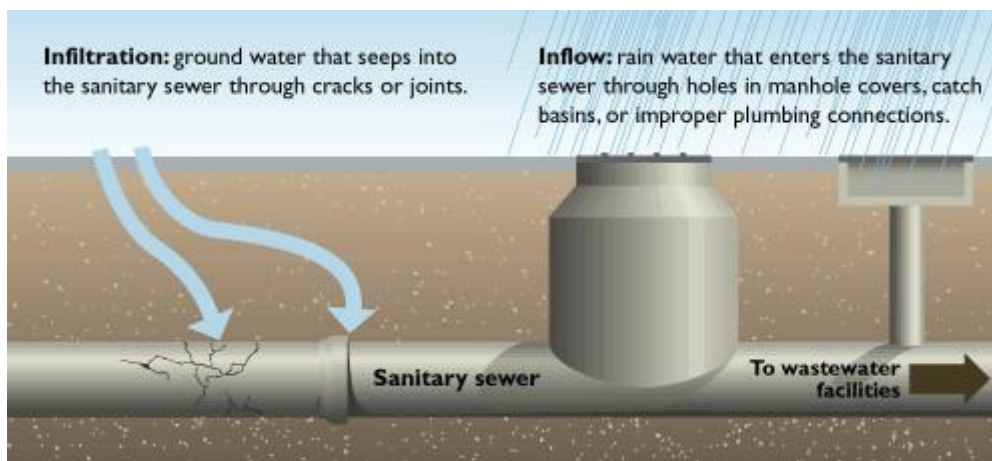
Innrennslisvatn getur komist inn í skólplagnir gegnum óþétt samskeyti (múffusamskeyti, brunnasamskeyti), óþéttar tengingar hliðarlagna og heimæða, í

gegnum belg á ónýtum eða skemmdum rörum, göt á brunnlokum eða vegna rangra tenginga.

Innrennslisvatn er yfirleitt meira vandamál í gömlum fráveitukerfum, þar sem lagnirnar eru lélegri og eftirlit með tengingum var lítið sem ekkert. Grunnvatnsstaða getur verið breytileg eftir árstíðum en hærri grunnvatnsstaða leiðir til meira innrennslis grunnvatns. Útrennsli úr fráveitulögnum getur líka mengað grunnvatn ef lagnir eru lagðar hærra en grunnvatnsyfirborðið og lagnir eru lekar.

Erfitt getur verið að meta magn innrennslisvatns þar sem það fer mikið eftir aðstæðum. Dæmigerð gildi eru á bilinu 0,002-0,32 l/s/ha (8; 17). Orkuveita Reykjavíkur hefur valið að taka tillit til innrennslisvatns með öryggisstuðlum (15).

*Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að reikna ekki sérstaklega magn innrennslisvatns heldur taka tillits til þess með öryggisstuðlum.*



Mynd 7: Innrennslisvatn í skólplögn. Skipt upp eftir innrennsli (e. inflow) og innleki (e. infiltration) (18).

### 2.3.6 Bakrásarvatn hitaveitu

Þar sem eru einföld hitaveitukerfi (bakrásarvatnið ekki leitt í lögnum til baka til uppblöndunar með of heitu vatni beint úr jörðu) er bakrásarvatn hitaveitu sett í fráveitulagnir. Í tvöföldum fráveitukerfum er misjafnt hvort bakrásarvatn er sett í skólplagnir eða regnvatnslagnir. Í Reykjavík var allt bakrásarvatn leitt í skólplagnir áður fyrr en í dag er bakrásarvatn leitt í regnvatnslagnir, nema ef regnvatnið er leitt í viðkvæman viðtaka (t.d. Elliðaár og Úlfarsá). Þá er bakrásarvatn leitt í skólplagnir.

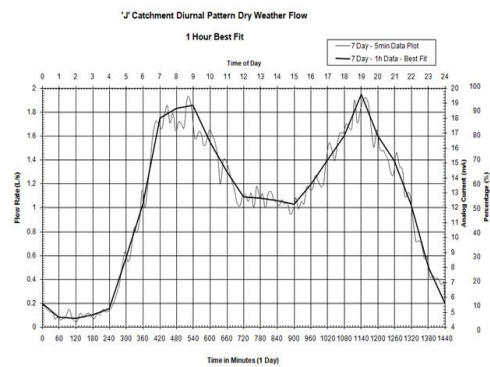
Bakrásarvatn getur skipt máli við hönnun skólplagna – einnig í yfirföllum í einföldum fráveitukerfum.

### 2.3.7 Ræsingarvatn

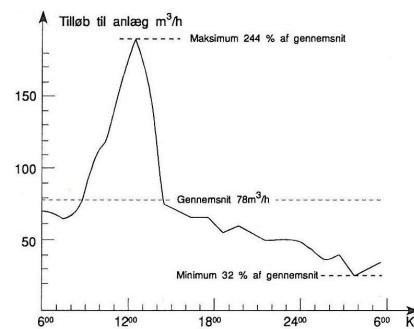
Með ræsingarvatni (dreni) er átt við vatn sem leitt er í fráveitulagnir þegar byggingar eru dreðar. Einnig getur ræsingarvatn átt við til dæmis þegar svæði (t.d. íþróttasvæði) eru drenuð. Almennt er ræsingarvatn ekki mikið, e.t.v. 0,1-0,2 l/s/ha á byggðum svæðum. Yfirleitt er það ekki skoðað sérstaklega þegar verið er að hanna fráveitulagnir, nema í undantekningartilfellum.

Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að reikna ekki sérstaklega magn ræsingarvatns heldur taka tillits til þess með öryggisstuðlum.

## 2.4 SKÓLP - HÖNNUNARRENNSLI



Mynd 8: Sólarhringsrennsli húsaskólps



Mynd 9: Sólarhringsrennsli iðnaðarskólps (16)

Það er erfitt að ákvarða hönnunarrennsli skólps með ásættanlegri nákvæmni. Alltaf skal framkvæma rennismælingar ef það er hægt og aðstæður leyfa. Ekki er alltaf hægt að mæla rennsli, t.d. ef um óbyggt hverfi er að ræða. Athuga skal þó að hægt er að framkvæma rennismælingar í sambærilegum hverfum ef þau eru til staðar.

Innan sólarhringsins er mikill breytileiki á magni skólps. Toppár verða á húsaskólpi á morgnana og á kvöldin og minnst er rennslið á nóttunni, eins og sjá má á mynd 8. Enn meiri breytingar eru á iðnaðarskólpi yfir sólarhringinn þar sem starfsemi er oft í gangi aðeins 6-8 klst á dag, sjá mynd 9.

Innan hvers árs er rennsli hvers dags (sólarhrings) breytilegt, t.d. á sumarleyfisstöðum er mun meira skólprennsli á sumrin en á veturna. Innrennslisvatn er breytilegt með árstíðum. Í vorleysingum hækkar oft grunnvatn, sem veldur meiri innrennsli inn í lek fráveitukerfi en á öðrum árstíðum. Þar sem bakrásarvatn hitaveitu fer í skólplagnir, er meira rennsli á köldum vetrardegi en heitum sumardegi (meira rennsli í gegnum ofna).

Vegna þess hve mikill breytileiki er á magni skólps innan sólarhrings og einnig innan árs er víða farin sú leið að skilgreina margföldunarstuðla á meðalrennsli til að finna mesta og minnsta rennsli. Mjög misjafnt er í heimildum hversu háum margföldunarstuðli mælt er með að nota en alltaf gildir að með auknum fjölda íbúa minnkar margföldunarstuðullinn. Einnig er misjafnt hvort sömu margföldunarstuðlar séu notaðar á allt skólp eða hvort þeir séu misjafnir eftir því hvort um er að ræða húsaskólp eða skólp frá atvinnustarfsemi. Á Norðurlöndunum er algengt að nota 2 stuðla, annars vegar fyrir mesta rennsli innan dags ( $f_t$ ) og hins vegar fyrir stærsta dag ársins ( $f_{max}$ ). Til þess að fá hönnunarrennsli fyrir stærðun lagna eru þá þessir tveir stuðlar margfaldaðir saman.

Það rennsli sem þarf til þess að sjálfhreinsun verði einu sinni á hverjum degi er mesta rennsli ( $f_t$ ) innan dagsins á minnsta degi ársins sem er fundið með því að nota stuðulinn  $f_{min}$ .

**Tafla 11: Margföldunarstuðlar notaðir á Norðurlöndunum til að finna mesta sólarhringsrennsli árs ( $f_{\max}$ ), mesta rennsli innan sólarhrings ( $f_t$ ) og minnsta sólarhringsrennsli árs ( $f_{\min}$ ).**

	$f_{\min}$	$f_{\max}$	$f_t$	
<b>Svíþjóð</b>				
1000-3000	0,5-0,6	2,3-1,5	3,0-1,7	(9)
>3000	0,6-0,8	2,1-1,3	2,7-1,4	
<b>Noregur</b>				
Íbúðarsvæði	0,4-0,6	2,0-2,5	2,2-1,8	(8)
Blönduð byggð	0,5-0,7	1,7-2,0	2,2-1,8	
Stærri þéttbýlissvæði	0,6-0,8	1,4-1,6	2,2-1,8	
<b>Danmörk</b>				
Minni bæir	0,2-0,4	1,7-2,4	2,4-1,7	(16)
Stærri bæir	0,2-0,4	1,3-1,7	1,7-1,3	

Í Bandaríkjunum og fleiri enskumælandi löndum er algengara að nota einn stuðul sem fenginn er úr jöfnum sem eru föll af fjölda íbúa (P, í þúsundum). Þær algengustu eru Harmon jafnan frá 1918, (19) sjá jöfnu (1.8) og Babbit jafnan frá 1958 (20), sjá jöfnu (1.9).

$$\text{Harmon jafnan:} \quad 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (1.8)$$

$$\text{Babbit jafnan:} \quad \frac{5}{P^{0.2}} \quad (1.9)$$

**Tafla 12: Margföldunarstuðull,  $F_{\max}$ , til að finna hönnunarrennsli húsaskólps, reiknaður skv. Norrænum og bandarískum aðferðum**

	1000 íbúar	5000 íbúar
Svíþjóð	6,9	1,8
Noregur	5,5	3,0
Danmörk	5,8	2,9
Harmon jafnan	3,8	3,2
Babbit jafnan	5,0	3,6

Í hönnunarforsendum OR (15) hefur sú leið verið farin að nota einn margföldunarstuðul á meðalrennsli húsaskólps, og hann má sjá í töflu 13.

**Tafla 13: Margföldunarstull á meðalrennsli húsaskólps  $F_{\max}$ , notaður af OR (15).**

Íbúafjöldi	Margföldunarstuðull $F_{\max}$
<1000	5
1000-5000	$-0,0005 * \text{íbúafjöldi} + 5,5$
>5000	3

Hámarksrennsli húsaskólps og skólps frá atvinnustarfssemi fellur yfirleitt ekki saman (sjá myndir 8 og 9). Yfirleitt er mesta rennsli húsaskólps á morgnana og um kvöldmatarleytið, en mesta rennsli iðnaðarskólps (og frá flestri annarri atvinnustarfssemi) á daginn. Með því að leggja saman mesta rennsli húsaskólps og mesta rennsli skólps frá atvinnustarfssemi er því í mörgum tilfellum verið að ofáætla hönnunarrennsli skólps.

Orkuveita Reykjavíkur hefur í sínum leiðbeiningum (15) farið þá leið að skoða þau tvö tilfelli, sem er að finna í töflu 14, til að meta hönnunarrennsli skólps og velja það tilfelli sem gefur hærra gildi. Til að taka tillit til óvissuþátta er hærra gildið síðan margfaldað með öryggisstuðli upp á 1,3.

Öryggisstuðlinum er ætlað að taka tillit til óvissuþátta, svo sem eins og óvissu í forsendum, innrennslisvatns, mögulegrar þéttingu byggðar, breyttrar notkunar svæða o.fl.

**Tafla 14: Tilfelli hönnunarrennslis skólps hjá Orkuveitu Reykjavíkur (15)**

	Húsaskólp	Skólp frá atvinnustarfssemi	Bakrásarvatn hitaveitu (ef til staðar)
<b>Tilfelli 1</b>	Mesta rennsli	Meðalrennsli	50% af mesta rennsli
<b>Tilfelli 2</b>	Meðalrennsli	Mesta rennsli	50% af mesta rennsli

Ómögulegt er að spá mörg ár eða áratugi fram í tímann um breytingar á byggðamynstri í borgum og bæjum. Til dæmis gætu ný svæði byggst upp, atvinnuhverfi breyst í íbúahverfi eða öfugt, eða byggð þést. Þegar verið er að meta langtímabreytingar er aðalskipulag sveitarfélags besta heimildin ásamt því að ræða við starfsmenn sveitarfélaganna. Auk þess er mikilvægt að hafa í huga að tæknibreytingar í iðnaði geta haft í för með sér breytta vatnsnotkun. Hefðbundinn íslenskur iðnaður, svo sem fiskvinnsla notar mikið vatn. Erlendis er tilhneigingin í þá átt að atvinnustarfssemi noti minna vatn en áður og búast má við sömu þróun hér, sérstaklega eftir því sem mæta þarf strangari umhverfiskröfum.

*Mælt er með að við ákvörðun á hönnunarrennsli skólps skuli alltaf byggja á rennslismælingum þar sem það er hægt. Ef ekki er hægt að framkvæma rennslismælingar verður að áætla hönnunarrennsli eftir öðrum leiðum, t.d. með aðferð Orkuveitu Reykjavíkur. Að auki skal alltaf hafa hliðsjón af skipulagsgögnum (t.d. aðalskipulagi) og leita allra fyrirliggjandi upplýsinga, m.a. frá eiganda fráveitunnar. Skoða skal sérstaklega vatnsfreka atvinnustarfssemi þar sem hún er til staðar.*

*Í öllum tilfellum skulu hönnuður og verkkaupi koma sér saman um forsendur hönnunarrennslis.*

## 2.5 REGNVATN - HÖNNUNARRENNSLI

Í þessum kafla verður eingöngu fjallað um úrkomu sem fellur sem rigning á ófrosna jörð. Það er sú nálgun sem yfirleitt er notuð við hönnun á fráveitulögnum fyrir regnvatn (ofanvatn).

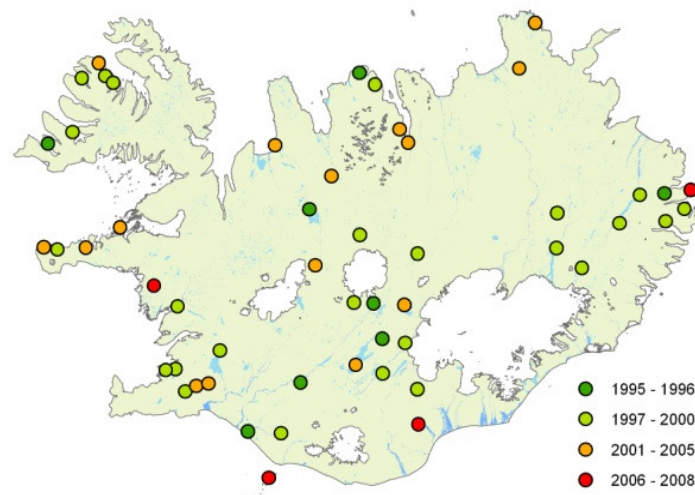
Ekki verður fjallað um rigningu ofan í snjó (hláku) sem getur valdið miklu afrennsli regnvatns. Ekki verður heldur fjallað um rigningu á frosna jörð sem getur valdið meira afrennsli regnvatns vegna hærri afrennslisstuðla.

### 2.5.1 Úrkomustyrkur

Úrkomustyrkur er sú úrkoma sem fellur á tímaeiningu og er hann háður bæði varanda og endurkomutíma úrkomuatburðar. Algengast er að nota eininguna l/s/ha fyrir úrkomustyrk.

Margar leiðir eru til þess að ákvarða úrkomustyrk með ákveðinn varanda og endurkomutíma. Þar sem úrkomumælingar hafa staðið nægilega lengi með mikilli upplausn er hægt að finna tengsl úrkomustyrks, úrkomuvaranda og endurkomutíma (Intensity-Duration-Frequency, IDF, curves).

Hér á landi eru afar fáir úrkomumælar sem hafa nægilega upplausn og flestir þeirra hafa verið settir upp undanfarin 10-15 ár. Mynd 10 sýnir þær sjálfvirku úrkomustöðvar sem til eru og hvenær þær voru settar upp.



**Mynd 10: Sjálfvirkar úrkomustöðvar**

Víða um land eru hins vegar til úrkomumælingar sem hafa mælt sólarhringsúrkomu í tugum ára. Vatnaverkefni Háskóla Íslands hefur því þróað aðferð sem tengir saman úrkomu með stuttan varanda og sólarhringsúrkomu með 5 ára endurkomutíma (1M5 gildi) (21). Til er 1M5 kort af öllu Íslandi auk sérkorta af höfuðborgarsvæðinu, Suðurlandi og Reykjanesi, sjá viðauka. Einnig er til tafla af 1M5 gildum fyrir mikinn fjölda veðurathugunarstöðva um allt Ísland (21).

Þegar 1M5 gildið er fundið fyrir staðinn sem verið er að skoða er hægt að fá úrkomustyrk skúra með mismunandi varanda og endurkomutíma úr einföldu excel forriti sem vatnaverkefni Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands hefur gefið út. Áður var Wussow aðferðin notuð hér á landi (22) en hún ofmetur úrkomustyrk við lítinn varanda, og því flæðir sjaldnar en kerfið var hannað fyrir ef sú aðferð er notuð.

Nýverið hafa upplýsingar komið fram (30) sem gefa til kynna að 1M5 aðferðin vanmeti úrkomustyrk um allt að 16% fyrir 5 ára endurkomutíma. Vegna þessa skal hönnuður alltaf vera íhaldssamur við mat á hönnunarrennsli.

### 2.5.2 Lengd hönnunarskúrar - úrkomuvarandi

Úrkomuvarandi er það tímaskeið sem úrkomuatburður varir. Úrkomustyrkur er háður úrkomuvaranda. Því styttri úrkomuvarandi, því meiri úrkomustyrkur. Til að finna út þann varanda sem er óhagstæðastur fyrir ákveðið regnvatnskerfi er samrennslistími kerfisins fundinn og notaður varandi sem er jafn þeim tíma. Samrennslistími (e. time of concentration) er skilgreindur sem sá tími sem afrennsli frá fjarlægasta svæði vatnasviðsins tekur að ná þeim punkti sem rennslið er reiknað fyrir

Samrennslistíminn er summan af aðrennslistíma (rennslistíma ofanjarðar að regnvatnskerfinu (e. initial time of concentration) og rennslistíma í regnvatnskerfinu. Við hönnun lítilla regnvatnskerfa er úrkomuvarandi sem notaður er við hönnun oft settur sem 10 mínútur.

Fyrir hönnun stærri regnvatnskerfa er óhagstæðasti samrennslistími kerfisins oft fundinn með hermun í tölvuforritum.

### 2.5.3 Endurkomutími úrkomuatburðar

Endurkomutími úrkomuatburðar er meðaltími sem líður á milli úrkomuatburða með tilteknum úrkomustyrk.

Þegar hanna á regnvatnskerfi þarf að ákveða hversu langan endurkomutíma úrkomuatburðar á að miða við. Því lengri endurkomutími sem er valinn, því sjaldnar má búast við að flæði upp úr regnvatnskerfinu.

Í Aflöbsteknik 4. útgáfu (2) er vandamálið nálgæð með tvennum hætti. Annars vegar er gefinn upp endurkomutími þar sem vatnsyfirborð (hydraulic grade line) má ekki vera herra en efra borð lagna að innanverðu. Sá endurkomutími er gefinn upp sem 1-10 ár, allt eftir eðli svæða sem um ræðir. Hins vegar er gefinn upp endurkomutími þar sem ekki má flæða upp úr regnvatnskerfinu. Sá endurkomutími er á bilinu 10-50 ár.

Í riti sænsku samtakanna Svensk Vatten (9) er nálgunin svipuð og í Aflöbsteknik, en að auki er gefin gildi fyrir blönduð kerfi. Endurkomutími þar sem vatnsyfirborð (hydraulic grade line) má ekki vera hærri en efra borð lagna að innanverðu er á bilinu 1-10 ár, eftir eðli svæða sem um ræðir. Endurkomutími þar sem ekki má flæða upp á yfirborð (í regnvatnskerfi) eða upp í kjallara (einfalt fráveitukerfi) er í öllum tilfellum 10 ár.

Í leiðbeiningum American Society of Civil Engineers (ASCE) (23) eru dæmigerðir endurkomutímar sem notaðir eru í bandarískum og kanadískum borgum fyrir íbúahverfi, verslunar- og þjónustuhverfi, flugvelli og miðbæjarhverfi á bilinu 2-10 ár. Þar segir einnig að fyrir „Major Drainage Systems Elements” (ekki skilgreint nánar) sé endurkomutími valinn allt að 100 ár.

Í áströlskum hönnunarreglum (24) er tiltekinn endurkomutími á bilinu 5-20 ár, allt eftir eðli svæða sem um ræðir. Þar er einnig tekið fram að fyrir „Major systems” skuli ekki flæða inn á einkasvæði (private leases) fyrir endurkomutímamann 100 ár. Til að ná því markmiði er bent á aðferðir eins og byggingu flóðgarða, að tiltaka lágmarksgólfhæðir o.s.frv.

Ljóst má vera að ofansögðu að nálgunin á endurkomutíma í erlendum heimildum er nokkuð misjöfn, en sameiginlegt er að mismunandi endurkomutími er valinn fyrir ólík svæði, þar sem mismikil verðmæti eru í húfi.



Í leiðbeiningum OR (15) er almennt mælt með að hanna fyrir úrkomu með 5 ára endurkomutíma. Hvergi í kerfinu mega lagnir vera undir þrýstingi við hönnunarúrkomu. Til viðbótar skal reikna fyrir úrkomu með 10 ára endurkomutíma. Hvergi í kerfinu má vatnsyfirborð ná yfirborði lands í því tilviki, nema að tryggt sé að flóðavatn valdi ekki tjóni og rennsli til viðtaka sé tryggt. Á miðbæjarsvæðum eða öðrum svæðum þar sem búast má við umtalsverðu eignatjóni ef flæðir upp á yfirborð er mælt með að hanna regnvatnskerfi OR með 20 ára endurkomutíma þannig að lagnir séu ekki undir þrýstingi við hönnunarúrkomu og fyrir 50 ára endurkomutíma þannig að vatnsyfirborð nái hvergi yfirborði lands.

Einnig skal skoða sérstaklega þau tilvik þar sem há sjávarstaða getur haft áhrif á flutningsgetu regnvatnskerfis.

*Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að nota 5 ára (10 ára) endurkomutíma í venjulegum kerfum, og 20 ára (50 ára) endurkomutíma á viðkvæmum svæðum.*

#### 2.5.4 Afrennsli regnvatns - afrennslisstuðlar

Til að meta hversu mikið af úrkomu skilar sér í regnvatnskerfi eru notaðir afrennslisstuðlar. Þeir eru einingarlausir og lýsa því hlutfalli úrkomu sem berst til regnvatnskerfis.

Afrennslisstuðull,  $C$ , er háður yfirborði lands og ýmsum vatnafræðilegum eiginleikum svæðisins, svo sem vætun, lægðageymslu, írennsli og svæðisgeymslu. Þar sem svæðið sem til athugunar er getur haft margs konar yfirborð eða aðra þætti er geta haft áhrif á afrennslid, er  $C$  reiknaður út frá afrennslisstuðlum hvers hlutsvæðis,

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N C_i A_i}{A} \quad (1.10)$$

þar sem

- $C_i$  = afrennslisstuðull hlutsvæðis  $i$
- $A_i$  = flatarmál hlutsvæðis  $i$
- $N$  = fjöldi hlutsvæða
- $A$  = heildarflatarmál svæðis.

Nálgunin í heimildum er á tvennan hátt. Annars vegar eru gefnir upp afrennslisstuðlar byggðir á notkun svæða, svo sem eins og einbýlishúsasvæði, fjölbýlishúsasvæði, miðbæjarsvæði. Tafla 15 sýnir dæmi um slíka afrennslisstuðla í Danmörku (2), Svíþjóð (9) Bandaríkjunum (23) og Ástralíu (24).

**Tafla 15: Dæmi um afrennslisstuðla fyrir ólíka landnotkun frá Danmörku (2), Svíþjóð (9) Bandaríkjunum (23) og Ástralíu (24)**

	Danmörk (2)	Svíþjóð (9)	Bandaríkin (23)	Ástralía (24)
Miðbæjarsvæði	0,8-1,0	0,7-0,9	0,7-0,95	0,9
Blönduð byggð	0,6-0,9	0,5-0,7	0,5-0,7	0,7-0,8
Raðhúsahverfi	0,3-0,4	0,4-0,6	0,6-0,75	0,45
Einbýlishúsahverfi	0,2-0,3	0,15-0,25	0,25-0,4	0,6

Hins vegar eru gefnir upp afrennslisstuðlar fyrir mismunandi yfirborð eins og t.d. steipt yfirborð, þök, stéttar, malarsvæði, grassvæði, sjá töflu 15. Eins og sjá má í

töflum 15 og 16 eru tölugildi í heimildum áþekk, sérstaklega þegar afrennslistuðlar fyrir ákveðin yfirborð eru skoðuð. Meiri breytileiki er í stuðlum sem byggja á notkun svæða og því ber að sýna meiri gætni við notkun slíkra talna. Eðlilegra er því að nota afrennslisstuðla sem byggja á yfirborði, þrátt fyrir að það geti kallað á meiri vinnu. Við mat á afrennslisstuðli svæðis verður að gera ráð fyrir framtíðarþróun svæðisins.

**Tafla 16: Dæmi um afrennslisstuðla fyrir mismunandi yfirborð frá Danmörku (2), Svíþjóð (9) og Bandaríkjunum (23)**

	Danmörk (2)	Svíþjóð (9)	Bandaríkin (24)
Þakfletir	0,9-1,0	0,9	0,75-0,95
Steyptir fletir og malbik	0,8-1,0	0,8	0,7-0,95
Hellulagðir fletir	0,6-0,7	0,7	0,7-0,85
Malarsvæði	0,2-0,3	0,2	
Gróðurmikil svæði	0,15	0,1	
Gróin svæði	0,1	0-0,1	0,05-0,35

Tafla 17 sýnir afrennslisstuðla sem OR hefur mælt með að nota á sínu veitusvæði.

**Tafla 17: Afrennslistuðlar sem OR mælir með að nota (15)**

Tegund yfirborðs	Afrennslisstuðull
Malbik, þök og steypfir fletir	0,9
Hellulagnir	0,6
Malarsvæði og önnur opin svæði	0,3
Gróin svæði	0,2

Hægt er að minnka hlutfall úrkomu sem berst í regnvatnskerfi með því að leiða hluta regnvatns beint í jörðu og þar með minnka afrennslisstuðul svæðisins. Einnig er hægt að minnka afrennslisstoppa með miðlunarmannvirkjum. Þessar aðferðir borgar sig að skoða, sérstaklega ef regnvatnslagnir neðar í kerfinu er of litlar.

*Ef ekki eru aðrar betri forsendur til grundvallar er mælt með að nota afrennslisstuðla í töflu 17.*

### 2.5.5 Hönnunarrennsli regnvatns

Til þess að reikna afrennsli regnvatns fyrir minni afrennslissvæði er rökræna formúlan notuð:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (1.11)$$

þar sem

Q = afrennsli (l/s)

C = afrennslisstuðull (einingarlaus)

i = úrkomustyrkur (l/s/ha)

A = flatarmál afrennslissvæðisins (ha).

Afrennslisstuðull og úrkomustyrkur er valinn skv. því sem fram kemur fyrr í þessum kafla.

Fyrir stærri og flóknari afrennissvæði er mælt með að herma afrennsli regnvatns í tölvuforritum.

### Dæmi 5:

Hvert er hönnunarregnvatnsrennsli frá nýju 20 hektara hverfi þar sem malbik og þök eru 40%, malarsvæði eru 10% og gróin svæði eru 50% svæðisins, ef gefið er að hönnunarúrkomustyrkurinn sem nota á er 63 l/s/ha?

### Lausn:

Notum rökrænu formúluna til at reikna regnvatnsrennslið, en fyrst þarf að finna afrennissstuðul hverfisins.

Við útreikning á afrennissstuðli er notuð jafna 1.10 og gildi úr töflu 17.

Það gefur afrennissstuðul:  $0,4 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,2 = 0,49$

Rökræna formúlan gefur þá

$$Q = C \cdot i \cdot A = 0,49 \cdot 63 \text{ l/s/ha} \cdot 20 \text{ ha} = 617 \text{ l/s}$$

## 2.6 HÖNNUN FRÁVEITULAGNA

### 2.6.1 Stærðarákvörðun lagna

Þegar lagnir eru stærðaðar eru notuð fræðin sem fram koma í kafla 2.2 fyrir allar lagnir og kafla 2.4. fyrir skólþ og kafla 2.5 fyrir regnvatn.

Fyrir skólþlagnir er oftast miðað við að lagnir séu (því sem næst) fullar við hönnunarennisli, og er þá oftast ekki öryggisstuðull byggður inn í hönnunarennislið. Einnig þekktist að hanna hlutfylltar skólþlagnir við hönnunarennisli, t.d. miða við ákveðinn hundraðshluta af flutningsgetu (t.d. 70%), eða ákveðið hlutfallslegt dýpi í lögnum (t.d. 0,8).

Fyrir regnvatnslagnir er yfirleitt miðað við að lagnir séu (því sem næst) fullar við hönnunarennisli. Yfirleitt er sérstakur öryggisstuðull ekki byggður inn í hönnunarennisli fyrir regnvatn.

Þar sem ákvarðað hönnunarennisli lendir á milli staðlaðra lagnastærða skal ávallt velja stærri lögnina. Ef hönnun er háð mikilli óvissu er vert að huga að því að velja næstu stærð fyrir ofan þá lagnastærð sem hefði verið valin ef óvissan hefði verið minni.

Mörg sveitarfélög hafa lágmarksstærð á lögnum sem lagðar eru í götur og getur það verklag komið í veg fyrir vandamál í fráveitukerfum tengd flutningsgetu. Í Reykjavík er t.d. lágmarksþvermál lagna sem lagðar eru í götu 250 mm (ef heimæðar og niðurfallaleggir eru undanskildir).

### 2.6.2 Planlega

Fráveitulagnir eru yfirleitt lagðar í götu en eru þó stundum lagðar í græn svæði eða stíga, eða annars konar land í eigu sveitarfélaga. Í grænum svæðum er oft um að ræða stofnlagnir neðan hverfa, þ.e. stærri fráveitulagnir. Stundum er þó ekki komist hjá því að leggja fráveitulagnir inni á einkalóðum, leitast skal við að takmarka það eins og

hægt er. Þegar lagnir eru lagðar inni á einkalóð þarf að leggja kvöð á lóðina vegna aðgangs veitufyrirtækis til viðhalds á lögnunum.

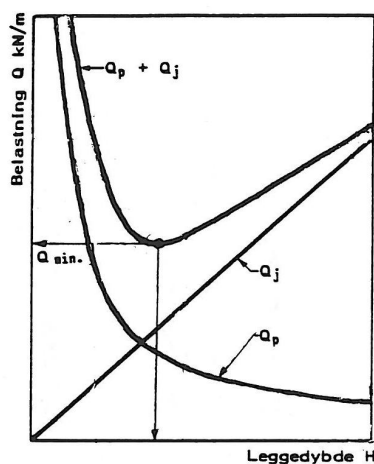
Nær undantekningalaust eru skólplagnir lagðar neðar í skurð en regnvatnslagnir. Ástæðurnar fyrir því eru helst eftirfarandi: Koma í veg fyrir að útrennsli úr skólplögnum mengi regnvatn; skólplagnir þurfa að geta tengst kjöllum, þ.e. þær þurfa að vera neðarlega.

Vatnslagnir eru oftast lagðar efstar í sama skurð og þá á frostfríu dýpi.

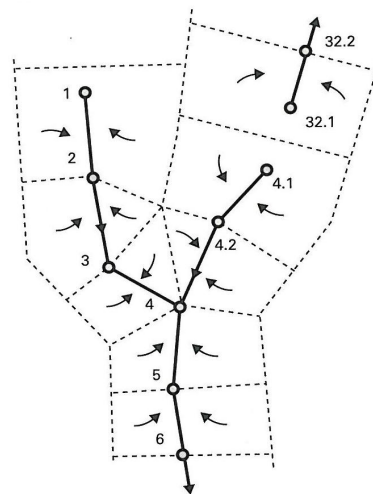
### 2.6.3 Hæðarlega

Fráveitulagnir þurfa að liggja með ákveðnum halla til að flutningsgeta þeirra og sjálfhreinsun sé nægjanleg. Best er ef hægt er að leggja lagnir með sama halla og er á landinu svo að lögnin sé alltaf á sama dýpi. Dýpi á fráveitulagnir þarf að vera nægjanlegt til að hægt sé að tengja heimæðar inn á þær. Fráveitulagnir þurfa að liggja á frostfríu dýpi, sem í dæmigerðum jarðvegi er a.m.k. 1,0-1,2 m.

Til þess að lágmarka álag á lagnir þarf að skoða annars vegar jarðvegsálag ( $Q_j$ ) sem eykst með dýpi og hins vegar umferðarálag ( $Q_p$ ) sem minnkar með dýpi. Þannig verða lagnir að vera á nægjanlegu dýpi til þess að þola umferðarálag, en þó ekki á það miklu dýpi að þær sligist af jarðvegsálagi. Þetta má sjá á mynd 11.



Mynd 11: Jarðvegsálag ( $Q_j$ ), umferðarálag ( $Q_p$ ) og heildarálag ( $Q_p+Q_j$ ) (8)



Mynd 12: Skipting vatnasviða upp í afrennslissvæði

### 2.6.4 Afrennslissvæði

Þegar hönnunarmagn fyrir hvern lagnaegg er ákveðið er vatnasviði fráveitulagna skipt upp í afrennslissvæði (sbr. mynd 12). Fyrir hvert afrennslissvæði þarf að finna stærð svæðis, afrennslisstuðul fyrir regnvatn, sbr. kafla 2.5.4, Afrennsli regnvatns, fjölda íbúa og/eða skólpmagn frá atvinnustarfsemi. Milli brunna er höfð sama lagnastærð sem miðast við mesta rennsli neðst í lögninni.

### 2.6.5 Tengingar fráveitulagna

Tengingar fráveitulagna eru yfirleitt gerðar í brunnnum, undantekning frá þessu eru tengingar heimæða og niðurfallaleggja. Tengingar í brunnnum geta verið undir alls konar hornum (brunnbotnar oft sérpantaðir frá framleiðendum). Æskilegast er að tengja hliðarlagnir undir minna en 90° horni. Þannig að fráveituvatn í hliðarlögn streymi ekki á móti fráveituvatni í aðallögn. Til þess að koma í veg fyrir tengingar undir meira en 90° horni getur þurft að setja aukabrunn.

Við tengingar heimæða og niðurfallaleggja eru yfirleitt notuð greinrör ef lögnin er lítil. Greinrörin eru þannig uppbyggð að heimæðin/niðurfallaleggurinn tengist undir 45°horni.

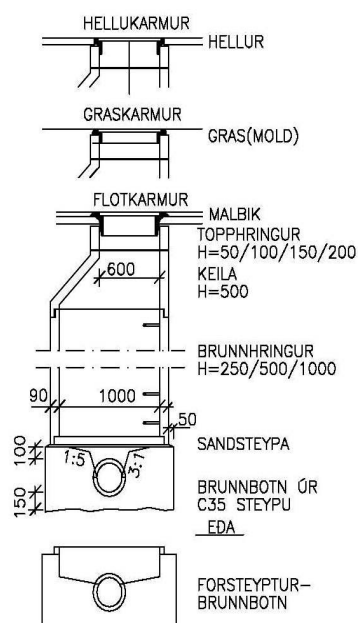
Þegar heimæðar og niðurfallaleggir eru tengdir inn á stórar lagnir ( $\text{Ø} \geq 400$  mm) er oft tengt beint inn á belg aðallagnar. Þegar tengt er beint inn á belg lagnar er það annaðhvort gert undir 45°horni sem er straumfræðilega betra, eða þvert á lögn sem getur verið auðveldara í framkvæmd.

Við hönnun fráveitukerfa skal aldrei minnka þvermál lagna í straumstefnu. Ef að af einhverjum völdum verður ekki hjá því komist, t.d. ef um er að ræða sökkræsi eða yfirföll, skal gera ráðstafanir til að auðvelda skolun og hreinsun og reglulega skola slík rör og hreinsa burt það sem fests hefur við þversniðsminnkanir.

### 2.6.6 Brunnar

Brunnar eru mannvirki gerð til þess að komast niður á lagnir til eftirlits, hreinsunar eða viðhalds. Þeir eru settir við tengingar fráveitulagna (þó yfirleitt ekki notaðir við tengingar heimæða og niðurfallaleggja), þar sem brot verður á lögnum í plani eða hæð, þar sem þvermál lagna breytist og þar sem lögn endar eða þar sem frekari tenging er fyrirhuguð síðar.

Á beinum lögnum þar sem ekki koma inn hliðarlagnir eða þvermál lagnarinnar breytist ekki eru brunnar settir á u.þ.b. 100-150 m fresti.



Mynd 13: Hefðbundin uppbygging steypis  $\text{Ø}1000$  brunns (25)

Manngengir brunnar eru útbúnir þannig að starfsmenn geti farið ofan í brunninn til eftirlits, hreinsunar eða viðhalds. Þeir eru yfirleitt 1m eða stærri að þvermáli (innanmál).

Hreinsibrunnar þurfa ekki að vera jafn stórir þar sem tæki eru notuð til eftirlits, hreinsunar eða viðhalds. Þó skal athuga að ekki er hægt að fódra lagnir með þeim fódrunaraðferðum sem notaðir eru hér á landi í dag ef brunnar eru með þvermál mikið minna en 1 m. Fallbrunnar eru settir til þess að taka upp hæðarmismun þar sem halli lagna er of mikill. Í fallbrunnum er hægt að taka upp fallið annaðhvort innan brunnsins eða utan hans.

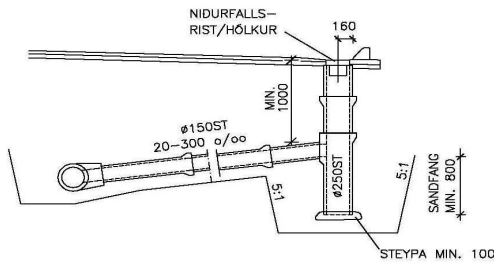
Á mynd 13 má sjá hefðbundna uppbyggingu steypis  $\varnothing 1000$  brunns. Brunnbotnar geta verið annað hvort staðsteyptir eða forsteyptir. Hægt er að sérpanta brunnbotna frá framleiðendum. Meginhluti brunns er í steypum brunnum byggður upp af brunnhringjum sem framleiddir eru í mismunandi hæðum (t.d. 50, 100, 150 eða 200). Í plastbrunnum er meginhluti brunnsins þó heill. Í manngegum brunnum eru fótstig fest í brunnvegg svo hægt sé að komast ofan í brunninn. Brunnkeilur koma ofan á brunnhringi. Mannopið sjálft er oftast minna (oftast 600 mm) en meginhluti brunnsins (oftast 1000 mm). Efsti hluti brunnsins, og sá hluti sem sést á yfirborði eru brunnkarmar og brunnlök. Til eru þrjár megin gerðir brunnkarma eftir því hvernig álag er flutt af brunnlöki. Í fyrsta lagi brunnkarmur sem flytur álag á brunninn sjálfan, þ.e. hann leggst beint ofan á brunninn. Í öðru lagi brunnkarmur sem steypur er inn í slitlag og flytur þannig álag í götuna (flotkarmur). Í þriðja lagi brunnkarmur með sérstakri steyptri undirstöðu.

### 2.6.7 Götuniðurföll og svelgir

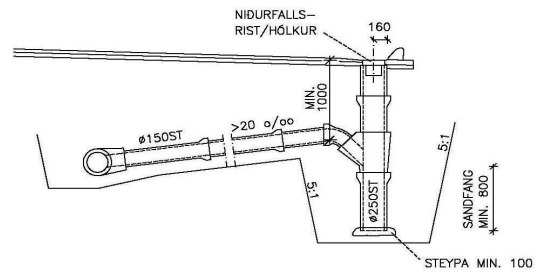
Tilgangur götuniðurfalla er að taka við regnvatni (ofanvatni) frá yfirborði og leiða í regnvatnslagnir. Götuniðurföll eru samsett úr niðurfallsrist, niðurfallskarmi (niðurfallahólki) og niðurfallsbrunni. Ristarnar eru til þess að stærri hlutir berist ekki í fráveitulagnir, þ.e. eru til grófhreinsunar á regnvatni. Niðurfallskarmar (niðurfallsbólkar) tengja niðurfallsrist við niðurfallsbrunna. Niðurfallsbrunnar eru nokkurskonar lóðréttar lagnir en í botninum er sandgildra til að sandur berist ekki inn í fráveitulagnir. Götuniðurföll geta bæði verið með eða án vatnsláss, fer eftir því hvort ætlunin sé að koma í veg fyrir lykt upp úr niðurfalli (sjá myndir 14 og 15).

Götuniðurföll eru sett með í mesta lagi 30 m millibili, í lægri kant götunnar, eða báðum megin ef gatan er tvíhalla. Í lágpunktum getur verið nauðsynlegt að setja tvö niðurföll og hafa tvær aðskildar tengingar frá þeim inn á aðallögn í götu.

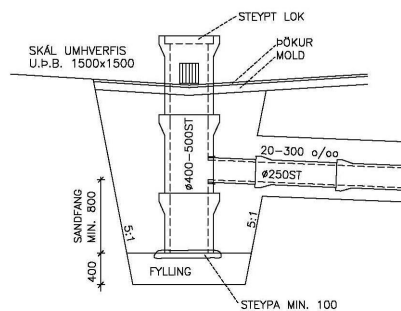
Svelgir eru niðurföll sem notuð eru út á víðavangi á t.d. gras- og malarsvæðum þar sem venjuleg götuniðurföll myndu stíflast en ristarnar í svelgum eru útfærðar þannig að þær stíflast síður. Svelgir eru yfirleitt í grasi eða mól, t.d. á milli akbrauta á stærri götum. Svelgir eru samsettir úr rist og niðurfallsbrunni, en ekki þarf neinn karm þar sem að rist er sett beint ofan í niðurfallsbrunninn. Tvær algengustu útfærslurnar eru með hliðarist (mynd 16) eða kúlurist (mynd 17).



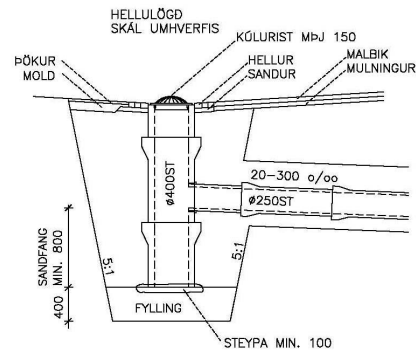
Mynd 14: Götuniðurfall án vatnsláss (25)



Mynd 15: Götuniðurfall með vatnslás (25)



Mynd 16: Svelgur með hliðarrist (25)

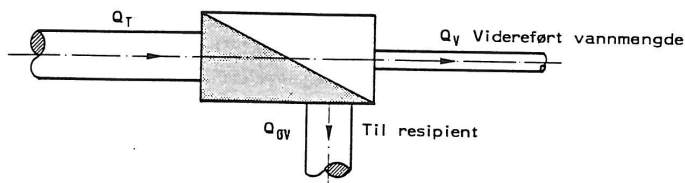


Mynd 17: Svelgur með kúlurist (25)

## 2.6.8 Önnur mannvirki í fráveitulagnakerfum

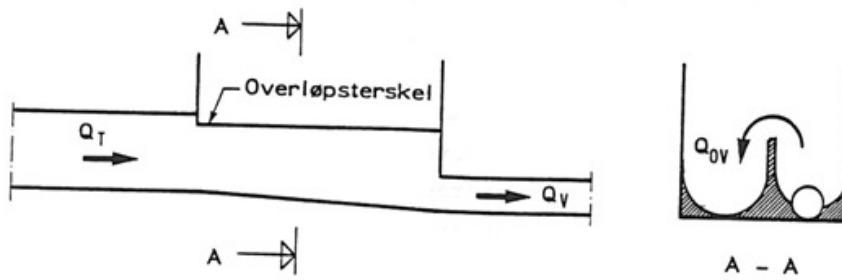
### 2.6.8.1 Yfirföll

Yfirföll eru notuð þar sem hluta af fráveituvatni er veitt í viðtaka eða til miðlunar í miðlunarþró. Sérstaklega eru þau notuð í einföldum fráveitukerfum. Einnig eru yfirföll notuð sem öryggistæki vegna bilunar- og stíflunarhættu (neyðaryfirföll), enda betra að fá óhreinsað skólþ út í viðtaka en að skólþ flæði inn í kjallara. Samkvæmt reglugerð um fráveitur og skólþ (789/1999) (1) er heimilt að miða við að ofanvatn fari um yfirföll allt að 5% af tímanum eða þegar uppblandað skólþ með hitaveitu- og/eða ofanvatni er í hlutföllunum 1:5 a.m.k. Mynd 18 sýnir í grundvallaratriðum virkni yfirfalls.

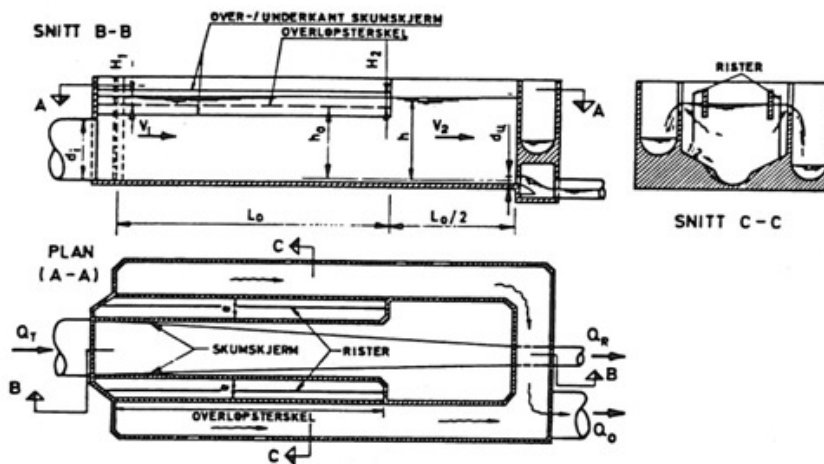


Mynd 18: Kerfismynd af yfirfalli (8)

Ýmsar gerðir yfirfalla eru til en þær algengustu eru hliðaryfirföll, með einni eða tveimur yfirfallsbrúnum. Mynd 19 sýnir hliðaryfirfall með einni brún, og á mynd 20 er hliðaryfirfall með tveimur brúnum. Þar má einnig sjá ristar og skúmbretti. Ristar eru stundum setta í yfirföll til að koma í veg fyrir að grófasta efnið lendi í viðtaka. Skúmbretti koma í veg fyrir að fita og olía fari í viðtaka.



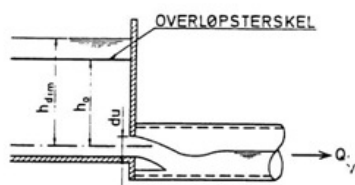
Mynd 19: Hliðaryfirfall með einni brún (8)



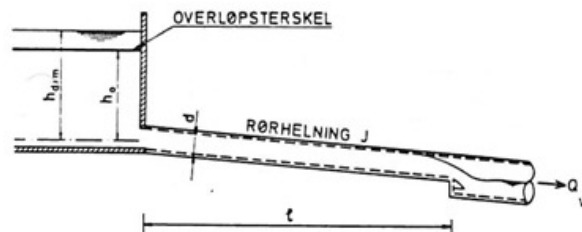
Mynd 20: Hliðaryfirfall með tveimur brúnum og ristum og skumbrettum (8)

### 2.6.8.2 Rennslistemprun

Til þess að vatn fari um yfirfallsbrúnir er rennslistemprun við enda yfirfallsins. Myndir 21-25 sýna dæmi um slíkar rennslistempranir. Mynd 21 sýnir þrengistút, en þar takmarkast rennslið í gegnum yfirfallið af því rennsli sem kemst í gegnum stúttinn. Þrengilögn (mynd 22) hentar betur til rennsliststýringar, en þar takmarkast rennslið af hámarksrennsli þrengilagnarinnar.

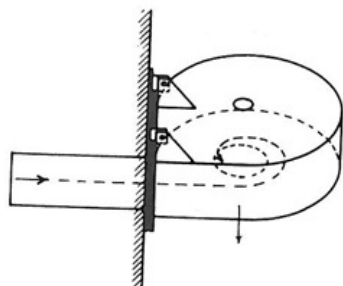


Mynd 21: Þrengistútur (8)

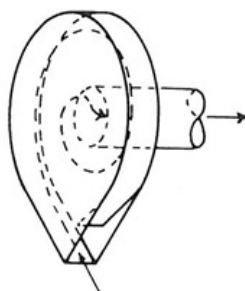


Mynd 22: Þrengilögn (8)

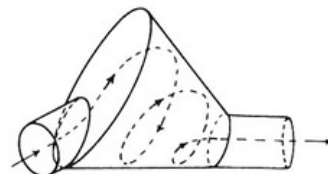




Mynd 23: Lárétt miðsóknarvatnsbremsa (2)



Mynd 24: Lóðrétt miðsóknarvatnsbremsa (2)

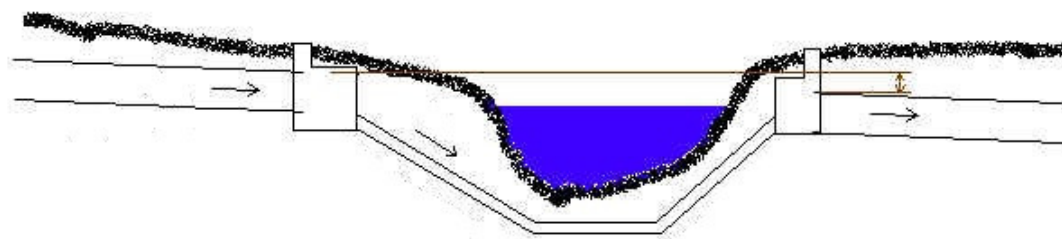


Mynd 25: Hvirfilvatnsbremsa (2)

Hægt er að stjórna rennslinu enn nákvæmar með svokölluðum rennslisbremsum (myndir 23-25). Þar hringsnýst vatnið í stefnu sem er þvert á rennslisstefnunna og þannig minnkar rennslid og vatnshæðin í yfirfallinu eykst.

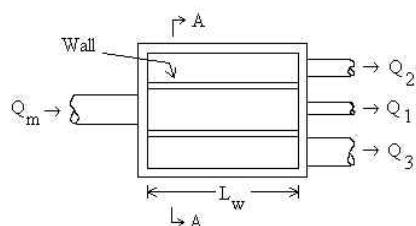
### 2.6.8.3 Sökkraesi

Sökkraesi er fráveitulögn þar sem vikið er frá jöfnum halla með því að leggja fráveitulögnina með hlykk niður á við og síðan upp á við aftur, sjá mynd 26. Sökkraesi er hægt að nota t.d. þar sem þvera þarf árfarveg, í stað þess að nota dælur. Sjálfrennsli er í sökkraesum og því þarf hæðarmunur að vera til staðar, en þar sem hluti lagningarinnar er með öfugum halla er rennsli í ræsinu sjálfu undir þrýstingi.

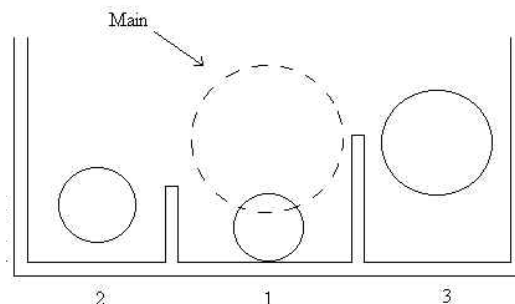


Mynd 26: Dægigert sökkraesi (26).

Mikilvægt er að nægjanleg skerspenna náist reglulega til að sökkraesi séu sjálfhreinsandi. Til þess að tryggja sjálfhreinsun við mismunandi rennsli eru oft lagðar fleiri en ein lögn undir árfarveginn, sjá myndir 27 og 28. Einnig getur verið nauðsynlegt að skola lögnina reglulega með vatni (fráveituvatni eða utanaðkomandi vatni) til að tryggja sjálfhreinsun.



Mynd 27: Innrennslisbrunnur sökkraesis



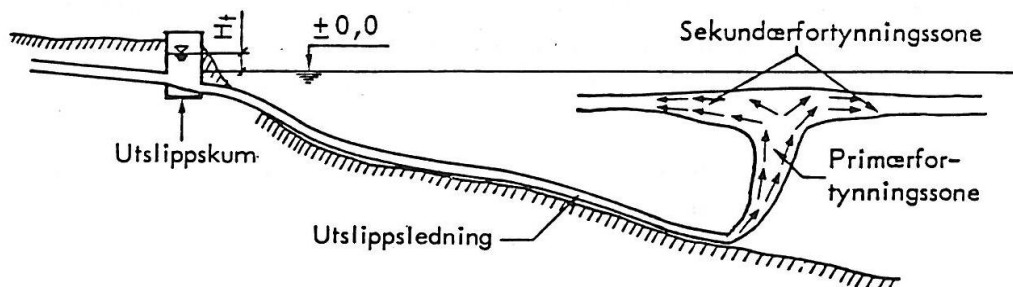
Mynd 28: Innrennslisbrunnur sökkræsis, snið

#### 2.6.8.4 Útræsi

Útræsi er lögn sem fráveituvatni er veitt um út að förgunarstað í viðtaka. Reglugerð 798/1999 um fráveitur og skólþ kveður á um að öllu skólþi sem veitt er til sjávar skuli veitt minnst 5 m niður fyrir meðalstórstraumsfjörumörk eða 20 m út frá meðalstórstraumsfjörumörkum. Reglugerðin kveður einnig á um að saurmengun yfirborðsvatns utan þynningarsvæða skuli vera undir 1000 / 100 ml og þar sem útvistarsvæði eru við fjörur ellegar matvælaíðnaður í grennd undir 100 / 100 ml (1).

Útræslagnir eru oftast úr plasti og er þeim haldið við botn með steiptum klossum.

Á stærri útræsum er skólþi hleypt út í viðtaka á mörgum stöðum úr útræsinu með mörgum útstreymisopum og kallast þá dreifiútrás.



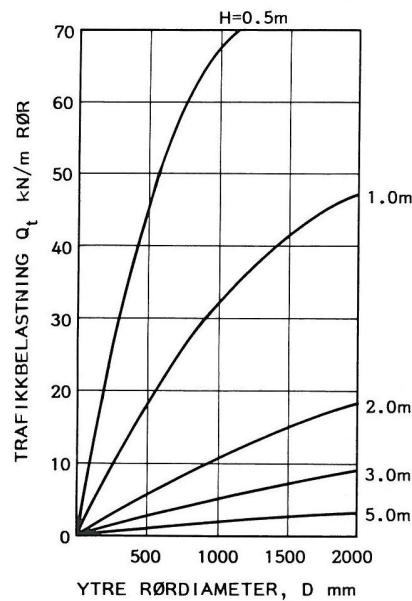
Mynd 29: Útræsi (8)

## 2.7 GRUNDUN FRÁVEITULAGNA

Fráveitulagnir eru nær alltaf grundaðar á burðarhæf jarðlög, þ.e. grafið niður á burðarhæf jarðlög og jarðvegsskipt ef lagnir skulu liggja ofar. Í undantekningartilfellum eru lagnir ekki grundaðar niður á burðarhæf jarðlög, heldur settur malarpúði (oft 500 mm þykkur) undir (plast)lagnir í óburðarhæft lag. Þetta er í lagi ef ekki er búist við miklu sigi á jarðlögum og halli lagna er frekar mikill. Þjöppun í kringum lagnir er mjög mikilvæg, sérstaklega fyrir plastlagnir.

Venjulegt lagnadýpi fyrir fráveitulagnir er 1-5 m ofan á lögn. Ef lagnir eru lagðar grynna, þarf yfirleitt að styrkja lagnir vegna of mikils umferðarálags, t.d. með því að steypa utan um lagnir. Þegar lagt er svo grunnt eykst einnig frosthætta. Ef lagnir eru lagðar dýpra þarf yfirleitt að styrkja lagnir vegna of mikils jarðvegsálags, t.d. með því að steypa utan um þær eða steypa stétt undir þær til að dreifa álagi frá rörum. Sumar lagnir er þó hægt að leggja dýpra án þess að styrkja þær sérstaklega ef jarðvinna og þjöppun er vönduð. Mynd 30 sýnir álag á lögn í skurði frá 100 kN hjólálagi fyrir mismunandi lagnadýpi og mismunandi rörstærðir.

Jarðvinna vegna fráveitulagna getur orðið mjög kostnaðarsöm, t.d. ef lagt er á miklu dýpi eða ef lagnir liggja í klöpp.



Mynd 30: Álag á rör í skurði frá 100 kN hjólalagi fyrir mismunandi lagnadýpi og mismunandi rørstærðir (8)

## 2.8 HERMUN Í TÖLVUFORRITUM

Við hönnun stærri fráveitukerfa og þegar skoða á flóð upp úr kerfum, flöskuhálsa í kerfi o.fl. duga handútreikningar ekki til þar sem um er að ræða flókna útreikninga þar sem lagnir geta m.a. verið undir þrýstingi. Möguleikar tölvuforrita eru margvíslegir og hægt er að skoða ýmis atriði, sem ekki er tekið tillit til við handútreikninga, eins og t.d. stök töp í brunnum, írennsli, mengun, föst efni og mögulegt set í lögnum.

Þegar til eru góð, nákvæm gögn um svæðið sem búa á til líkan af er á einfaldan hátt hægt að flytja lagnir inn í tölvulíkan. Oftast fer þó mikil vinna í að fullvinna gögnin svo hægt sé að flytja þau inn, ákvarða afrennissvæði og slíkt. Inn í lagnakerfið er svo hægt að bæta dælum, upplýsingum um niðurföll, gerð og hryfi pípna og ýmsu öðru. Ef um er að ræða líkan af byggðum hverfum er nauðsynlegt að stilla líkanið með raungögnum (kalibrera með mældum gögnum), þá helst regn- og straumgögnum með hárru upplausn.

Við hermun regnvatns er ekki nóg að hafa upplýsingar um úrkomustyrk með ákveðinn varanda og endurkomutíma, heldur er nauðsynlegt að þekkja dreifingu úrkomunnar. Þetta er hægt að gera með því annaðhvort að nota svokallaða Chicago storma sem hægt er að fá úr 1M5 forritinu eða með því að nota raunveruleg úrkomugögn.

Með notkun tölvuforrita er hægt að fá nákvæmari afrennissstuðla þegar til eru á tölvutæku formi steiptir fletir, hellulagnir, malarsvæði og græn svæði.

Kostir þess að eiga til tölvulíkan af hverfum eru auk þess ótvíræðir. Þannig er á einfaldan hátt hægt að skoða áhrif breyttra forsenda, nýrra skipulagsaðgerða, og sjá hvar eru að verða vandamál.

Algennt tölvuforrit til hermunar á fráveitukerfum er Mike Urban frá DHI. Einnig er hægt að finna ókeypis forrit á netinu eins og t.d. SWMM frá bandarísku umhverfisstofnuninni (EPA).

## 2.9 SKIL Á GÖGNUM

Við lok hönnunar er eðlilegt að skila ekki einungis teikningum af hönnuðu kerfi heldur einnig þeim hönnunarforsendum sem liggja að baki, eins og t.d. eftirfarandi.

- Húsaskólp
  - Fjöldi íbúa
  - Margföldunarstuðull
- Skólp frá atvinnusvæði
  - Stærð svæðis
  - Álagsflokkur
  - Mesta rennsli
  - Meðalrennsli
- Hönnunarrennsli
- Regnvatn (ofanvatn)
  - 1M5 gildi
  - Endurkomutími
  - Stærð svæðis
  - Meðalafrennslisstuðull
  - Hönnunarrennsli regnvatns
- Bakrásarvatn hitaveitu
- Helstu inntaks- og úttaksskrár úr tölvuforriti, ef slíkt forrit hefur verið notað við hönnun.

Einnig er eðlilegt að skila samantekt á helstu niðurstöðum hönnunar, nokkurs konar skilagrein. Hún ætti að innihalda upplýsingar eins og t.d.:

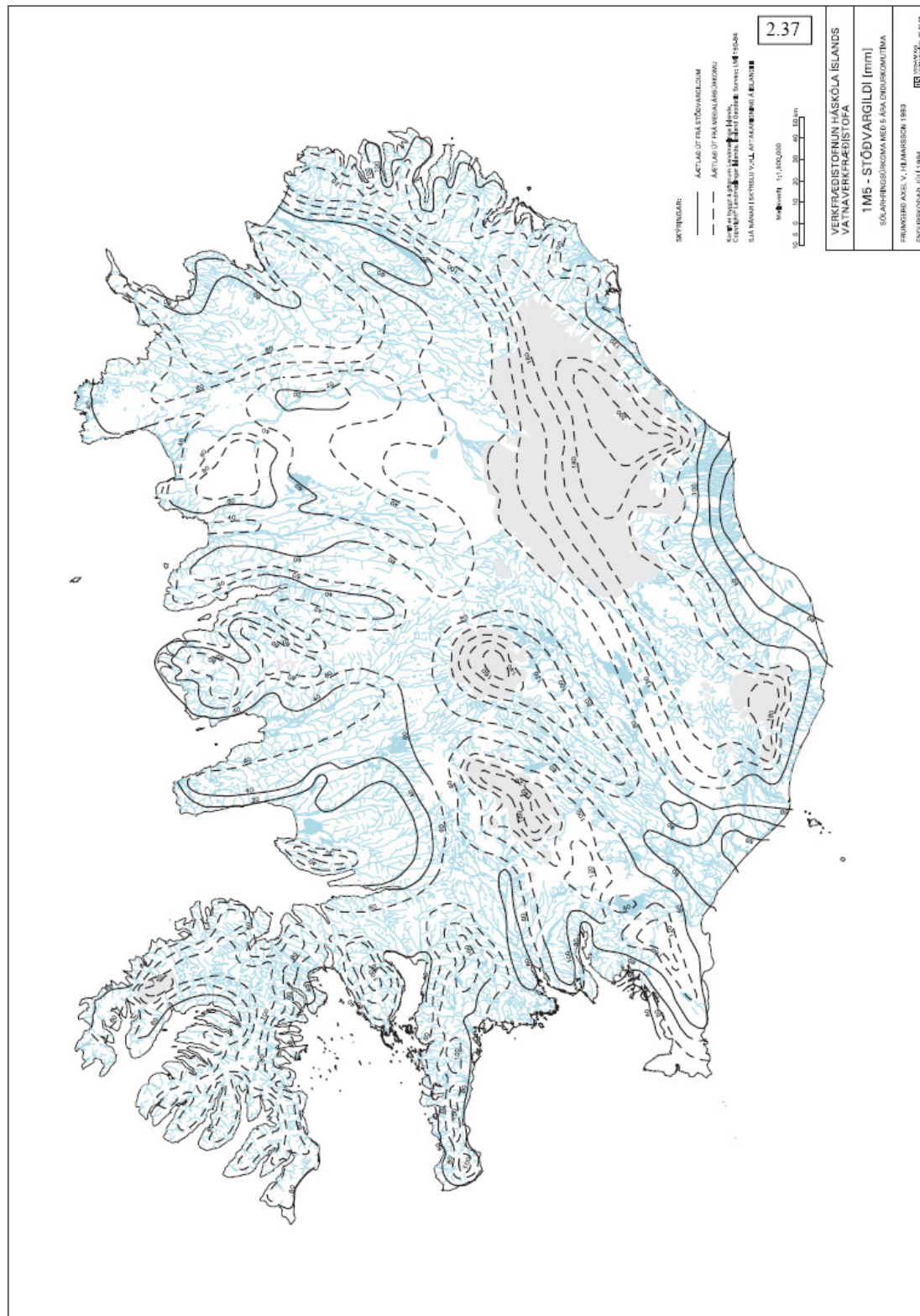
- Flöskuhálsar í kerfi (ef einhverjir eru)
- Flutningsgeta og hönnunarrennsli
  - Hvar er hönnunarrennsli nálægt flutningsgetu
  - Er einhvers staðar mikil ónýtt flutningsgeta
- Flóð upp úr kerfi (má búast við flóðum, og þá hvar?)
- Lega kerfa, sérstök atriði
  - Eru lagnaleggir með litlum halla (geta valdið vandræðum í framtíðinni)
  - Óvenjuleg planlega (t.d. innan lóðar - kvaðir á lóð)

## 2.10 HEIMILDASKRÁ

1. **Reglugerð 798/1999 um fráveitur og skólþ.**
2. **Linde, Jens Jørgen, o.fl., o.fl.** *Afløbsteknik*. Lyngby : Polyteknisk Forlag, 2002.
3. **DS 432:2000.**
4. **PH-Consult.** *Praktiske forekommende ruheder i afløbssystemer*. 2001.
5. *Field measurements of the hydraulic resistance of sanitary sewers.* **Gerard, R., Bouthilier, P. og Besmehn, J.** 1989, Canadian Journal of Civil Engineering, B. 16, bls. 936-944.
6. **Roberson, John A, Cassidy, John J. og Chaudhry, M. Hanif.** *Hydraulic Engineering*. s.l. : John Wiley & Sons, Inc., 1997.
7. **EN 752 - Drain and sewer systems outside buildings.**
8. **Bøyum, Åsmund, o.fl., o.fl.** *Grunnkurs i VAR-Teknikk 2: Avløpsteknikk*. s.l. : Institut for vassbygging NTH, 1989.
9. **Svenskt Vatten.** *Dimensionering av allmänna avloppsledning*. 2004. Publikation P90.
10. *Sewer line design based on critical shear stress.* **Yao, K.M.** 1974, ASCE Journal of the Environmental Engineering Division, B. 100, bls. 507-520.
11. **Ackers, J. C., Buttler, D. og May, R.W.P.** *CIRIA Report 141: Designs of sewers to control sediments Problems*. s.l. : CIRIA, 1996.
12. **Orkuveita Reykjavíkur.** *Almennar hönnunarforsendur veitukerfa OR*. s.l. : Orkuveita Reykjavíkur, 2009. LAH-120-35.
13. **Fjóla Jóhannesdóttir.** *Útreikningar á vatnsnotkun í Norðurmýrinni í Reykjavík frá janúar til nóvember árið 2007 - óútgefið*. s.l. : OR, 2007.
14. **Gatnamálastjórnin í Reykjavík.** *Athugun á notkun á heitu og köldu vatni*. 1985.
15. **Orkuveita Reykjavík.** *Leiðbeiningar um hönnunarrennsli skólps og ofanvatns*. Reykjavík : Orkuveita Reykjavíkur, 2008. LAC-333-02.
16. **Henze, Mogens, Poul Harremoës, Jes la Cour Jansen og Arvin, Erik.** *Spildevandsrensning: Biologisk og kemisk*. 2. Lyngby : Polyteknisk Forlag, 1992.
17. **Crites, Ron og Tchobanoglous, George.** *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. s.l. : McGraw-Hill, 1998.
18. Regional Infiltration and Inflow Control Program. *King County, Washington*. [Á neti] 9. Júlí 2010. <http://www.kingcounty.gov/environment/wastewater/II.aspx>.
19. *Forecasting Wastewater Discharge at Toledo.* **Harmon, W.G.** 1918, Engineering New Record, B. 80.
20. **Babbitt, H.E. og Baumann, E.R.** *Sewerage and Sewage Treatment*. New York : John Wiley, 1958.

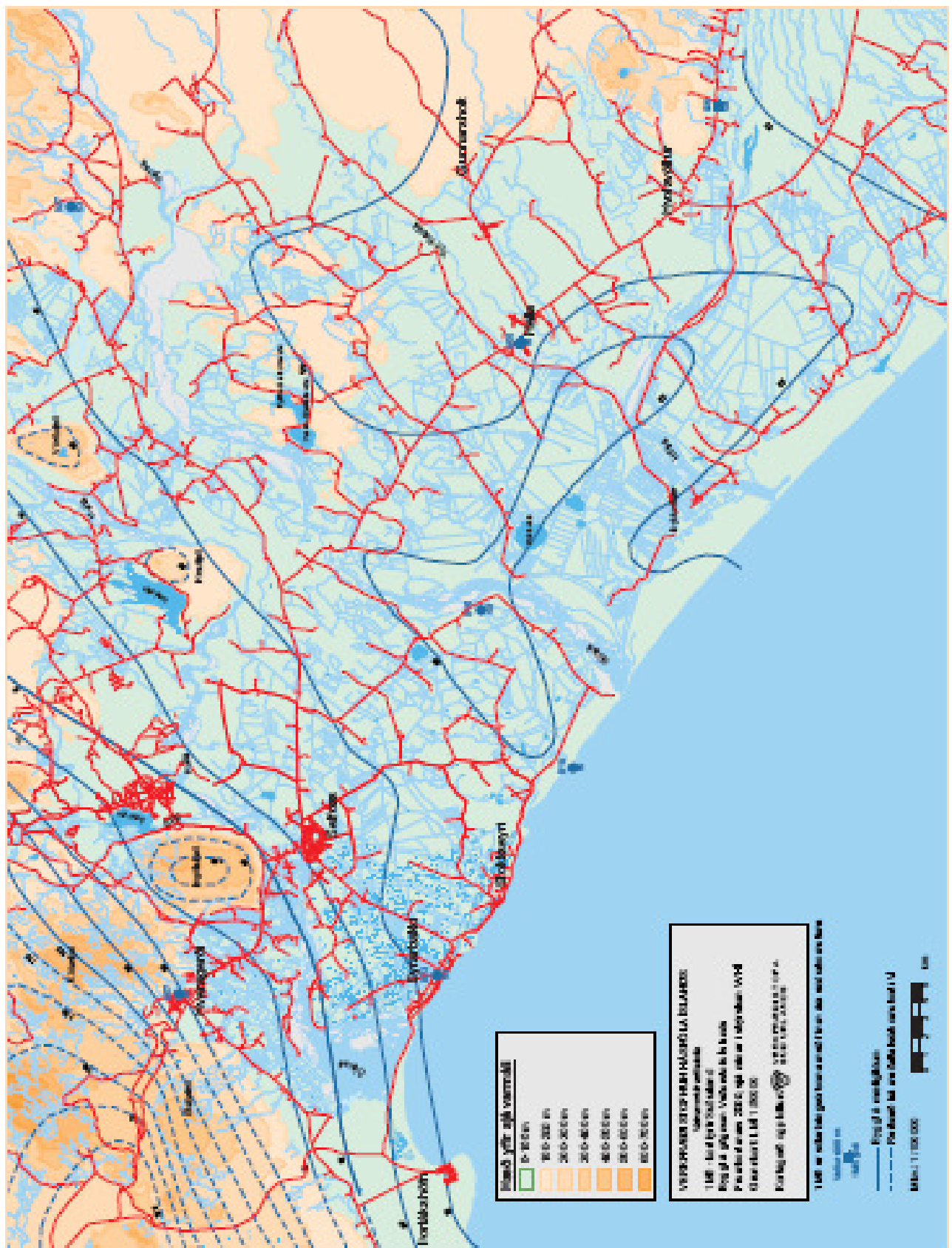
21. **Jónas Elíasson og Sigvaldi Thordarson.** *Vatnafræðilegar forsendur fráveituhönnunar.* Reykjavík : Verkfræðistofnun - Vatnaverkefni, 1996.
22. *Aftaka úrkoma á Íslandi.* **Bergþórsson, Páll.** 1977, Veðrið, B. 2.
23. **Federation, The Urban Water Resources Research Council of the American Society of Civil Engineers and the Water Environment.** *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems.* s.l. : American Society of Civil Engineers and Water Environment Federation, 1992. ASCEL Manuals and Reports of the Engineering Practice No. 77, WEF Manual of Practice FD-20.
24. **Services, Territory and Municipal.** *Design Standards for Urban Infrastructure: DS01 - Stormwater.* Canberra : Urban Services, 2006.
25. **Orkuveita Reykjavíkur.** *Staðalsnið fráveitu.* 2007. LAC335-01.
26. **Edwards, Ken.** Inverted Siphon (Depressed Sewer) Design Calculation. *The fluid flow calculations website.* [Á neti] 2002. <http://www.lmnoeng.com/>.
27. **Arthur, S., o.fl., o.fl.** Sediment transport in sewers - a step towards the design of sewers to control sediment problems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water, Maritime and Energy.* 1999, B. 136, 1.
28. **City of McKinney, Texas.** *Water and wastewater design criteria - DRAFT.* 2004.

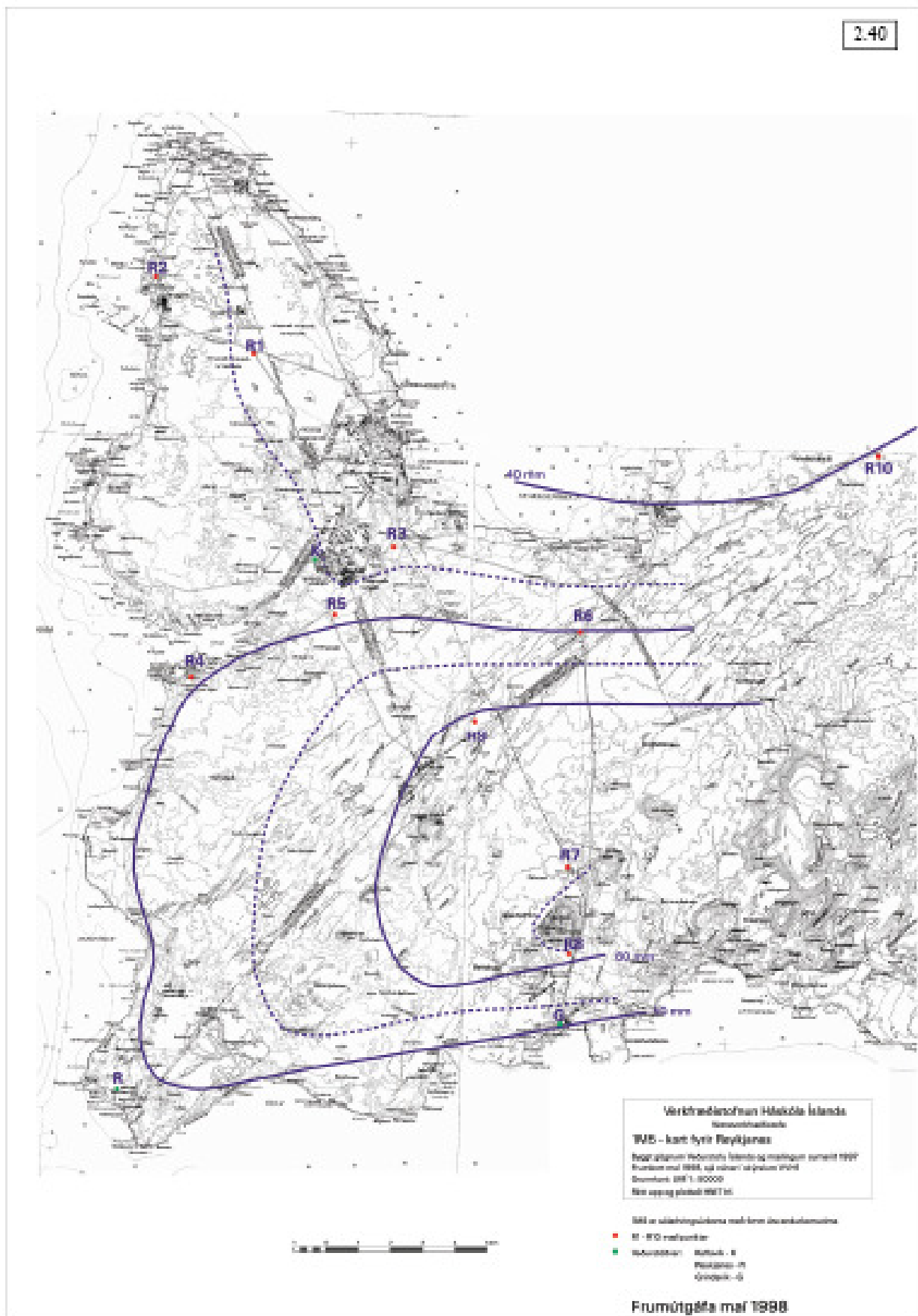
## 2.11 VIÐAUKI – 1M5 KORT











## **Kaflí 3 Hreinsun fráveituvatns**

# Kaflí 4 Lagnaefni

Kemur síðar

# Kaflí 5 Lagning röra

Kemur síðar

## Kaflí 6 Dæling fráveituvatns

Kemur síðar

## Kaflí 7 Endurnýjun eldri kerfa

# Kaflí 8 Rekstur lagnakerfa

Kemur síðar



# Kaflí 9 Lög og reglugerðir

Kemur síðar