

TARTU ÜLIKOOLI EESTI MEREINSTITUUT, MERIN AS

# Erinevate HEJ turbiini sissevoolu võreavade mõju lõhe ja meriforelli laskujate tõkestamisel. Täiendavate võrede paigaldamise teostatavuse ja maksumuse analüüs.

---

Tellija: Kalanduse Teabekeskus



Martin Kesler, Rein Kitsing

11/30/2018



**Kalanduse teabekeskus**

[www.kalateave.ee](http://www.kalateave.ee)

## Sisukord

|  |    |
|--|----|
| Sissejuhatus .....   | 2  |
| Laskujate suurus .....   | 3  |
| Lõhe .....   | 3  |
| Meriforell.....  | 5  |
| Allavoolu rände ajaline dünaamika .....  | 7  |
| Lõhe .....   | 7  |
| Meriforell.....  | 8  |
| Kalavõrede hüdrotehniline hinnang.....   | 9  |
| Kokkuvõte.....   | 14 |
| Kasutatud kirjandus.....   | 15 |
| Lisa 1. Ülevaade lõhe jämeduselisest jaotumusest aastate kaupa (2006-2018).....        | 16 |
| Lisa 2. Ülevaade meriforelli jämeduselisest jaotumusest aastate kaupa (2006-2018)..... | 23 |

## Sissejuhatus

Lõhe ja meriforelli noorjarkude kevadisel rändeperioodil jõgedest merre on kalade sattumine hüdroelektrijaamade (HEJ) turbiinidesse laialdaselt tuntud probleemiks. Kalade hukkumist või vigastada saamist elektrijaamade turbiinides peetakse üheks tähtsamaks HEJ-de negatiivseks mõjuteguriks (Goustgov *et al.* 2015). Sõltuvalt turbiini tüübist võib laskujate suremus olla väga suur (Aarestrup & Koed 2003, Calles & Greenberg 2009, Fergusson *et al.* 2006, Gustafson 2010, Svendsen *et al.* 2007), mistõttu on HEJ-del negatiivne mõju kohalike populatsioonide arvukuse kujunemisele. Hetkel kehtiva veeseaduse §17 kohaselt on HEJ-de omanikel kohustus paigaldada turbiinikanalite sissevooludele võred, mille piidevahe ei ole suurem kui 25 mm.

Käesolevas töö eesmärgiks on anda Eesti oludes relevantne ülevaade lõhe ja meriforelli kevadel laskuvate noorjarkude suurusest, jämeduselisest jaotumusest ja rände ajalistest iseärasustest. Töös esitatud andmed pärinevad Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi seirepüükidest Pirita jõe alamjooksul (2006-2018). Laskujate keskmine täispikkuse ja keha paksuse suhe oli 8,4 ja keha kõrguse suhe oli 6. Kala selja-, kõhu- ja rinnauimi suhte arvutamisel ei arvestatud. Töös hinnatakse kui laiade võre vahede puhul oleks laskujate sattumine turbiini senisest paremini tõkestatud ning millisel ajaperioodil on kõige otstarbekam täiendavaid peeneid võresid kasutada. Töö teises osas analüüsib hüdroinsener Rein Kitsing täiendavate võrede (võreavade suurus 12, 14 ja 16 mm ning 15x15 mm võrkvõre) HEJ turbiinisissevooludele paigaldamise võimalikkust ja maksumust Joaveski HEJ (Loobu jõgi), Kunda tsemenditehase HEJ (Kunda jõgi) ja Sillaoru HEJ (Purtse jõgi) näitel. Võrkvõred (silmasuurusega 15x15 mm, valmistatud 2 mm jämedusest terastraadist) lisati analüüsi, sest selline lahendus on juba kasutuses Joaveski HEJ-s.

## Laskujate suurus

### Lõhe

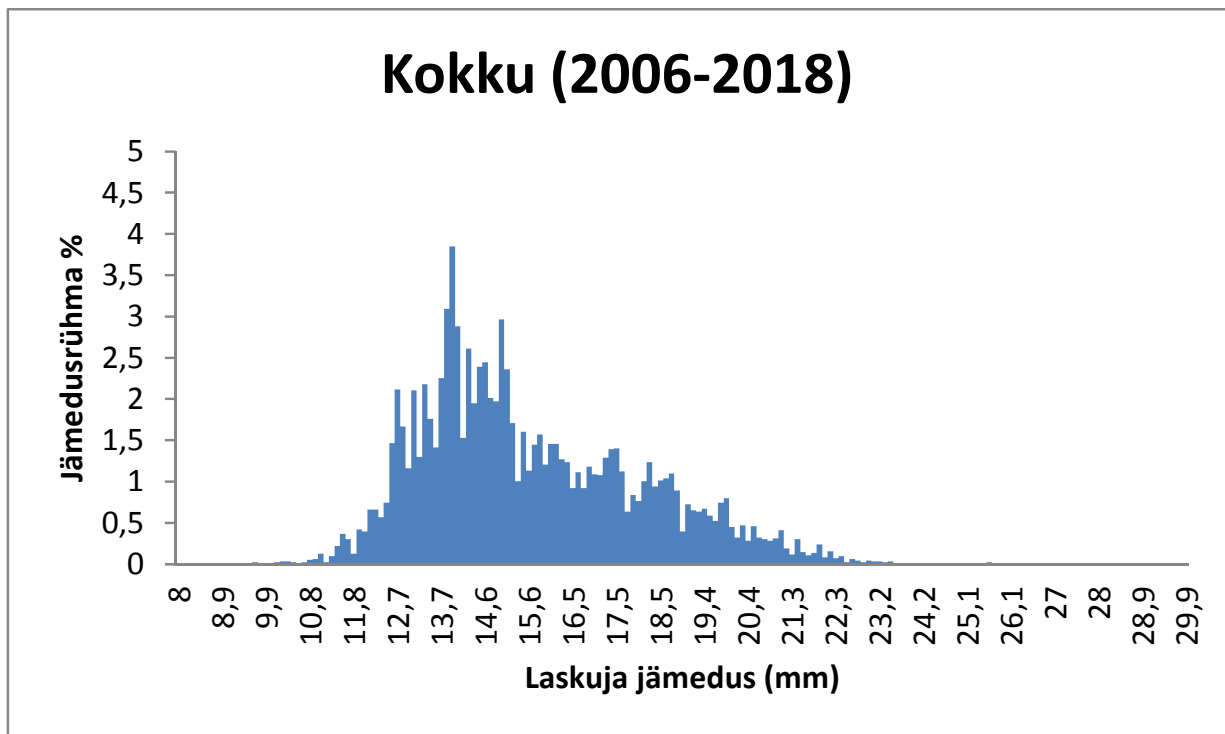
Lõhe laskujate suurus võib aastate lõikes olulisel määral varieeruda (Tabel 1 ja 2). Selle peamiseks põhjuseks on laskujate vanuselise struktuuri varieerumine (Tabel 2). Sõltuvalt tähnikute kasvukiirusest ja arvukusest laskumisperioodile eelneval kasvuhooajal on erinevatel aastatel lõhe laskujad valdavalt kas ühe või kahe aastased. Laskujate seas esineb kolme ja ka isegi nelja aastaseid isendeid, kuid nende osakaal on äärmiselt väike ja seetõttu üldist pilti ei mõjuta. Detailsem jämeduseline jaotumus on aastate kaupa välja toodud lisas 1. TÜ EMI kevadiste seirepüükide tulemused näitavad, et 25 mm vahedega võred lõhe laskujaid ei takista (Joonis 1). Seevastu 16 mm laiuste võreavade vahelt mahub läbi 59,4%, 14 mm võreavade vahelt 25,5% ja 12 mm võreavade vahelt 1,5% kõigist lõhe laskujatest (vt. Joonis 1). Alternatiivse lahendusena tõkestaks 15x15 mm silmasuurusega võrkvõre 93,1% lõhe laskujatest.

Tabel 1. Ülevaade Pirita jõe lõhe laskujate keskmistest suuruselistest näitajatest.

| Aasta        | Keskmine täispikkus (mm) | Keskmine mass (g) | Keskmine jämedus (mm) | Keskmine vanus | Kalade arv  |
|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|----------------|-------------|
| <b>2006</b>  | 149                      | 25,5              | 17,7                  | 2,0            | <b>389</b>  |
| <b>2007</b>  | 150                      | 27,7              | 17,9                  | 1,9            | <b>73</b>   |
| <b>2008</b>  | 137                      | 21,7              | 16,3                  | 1,8            | <b>674</b>  |
| <b>2009</b>  | 132                      | 19,0              | 15,8                  | 1,7            | <b>1338</b> |
| <b>2010</b>  | 147                      | 25,5              | 17,5                  | 1,8            | <b>554</b>  |
| <b>2011</b>  | 162                      | 33,4              | 19,3                  | 2,0            | <b>98</b>   |
| <b>2012</b>  | 163                      | 35,6              | 19,4                  | 2,0            | <b>314</b>  |
| <b>2013</b>  | 126                      | 15,9              | 15,0                  | 1,1            | <b>462</b>  |
| <b>2015</b>  | 139                      | 21,7              | 16,5                  | 1,6            | <b>606</b>  |
| <b>2014</b>  | 147                      | 25,2              | 17,5                  | 1,9            | <b>614</b>  |
| <b>2016</b>  | 121                      | 14,1              | 14,4                  | 1,2            | <b>2543</b> |
| <b>2017</b>  | 153                      | 27,9              | 18,3                  | 2,0            | <b>133</b>  |
| <b>2018</b>  | 119                      | 15,2              | 14,1                  | 1,1            | <b>1742</b> |
| <b>Kokku</b> | <b>131</b>               | <b>19,1</b>       | <b>15,6</b>           | <b>1,5</b>     | <b>9540</b> |

Tabel 2. Ülevaade lõhe laskujate keskmistest suuruselistest näitajatest vanuste kaupa.

| Vanus           | Keskmine täispikkus (mm) | Keskmine mass (g) | Keskmine jämedus (mm) | Kalade arv (n) |
|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|----------------|
| 1               | 117                      | 12,5              | 13,9                  | 5092           |
| 2               | 148                      | 26,3              | 17,7                  | 4327           |
| 3               | 198                      | 61                | 23,6                  | 30             |
| <b>Keskmine</b> | <b>132</b>               | <b>19</b>         | <b>15,7</b>           | <b>9449</b>    |



Joonis 1. Ülevaade lõhe laskujate jämeduselisest jaotumusest Pirita jões aastatel 2006-2018.

## Meriforell

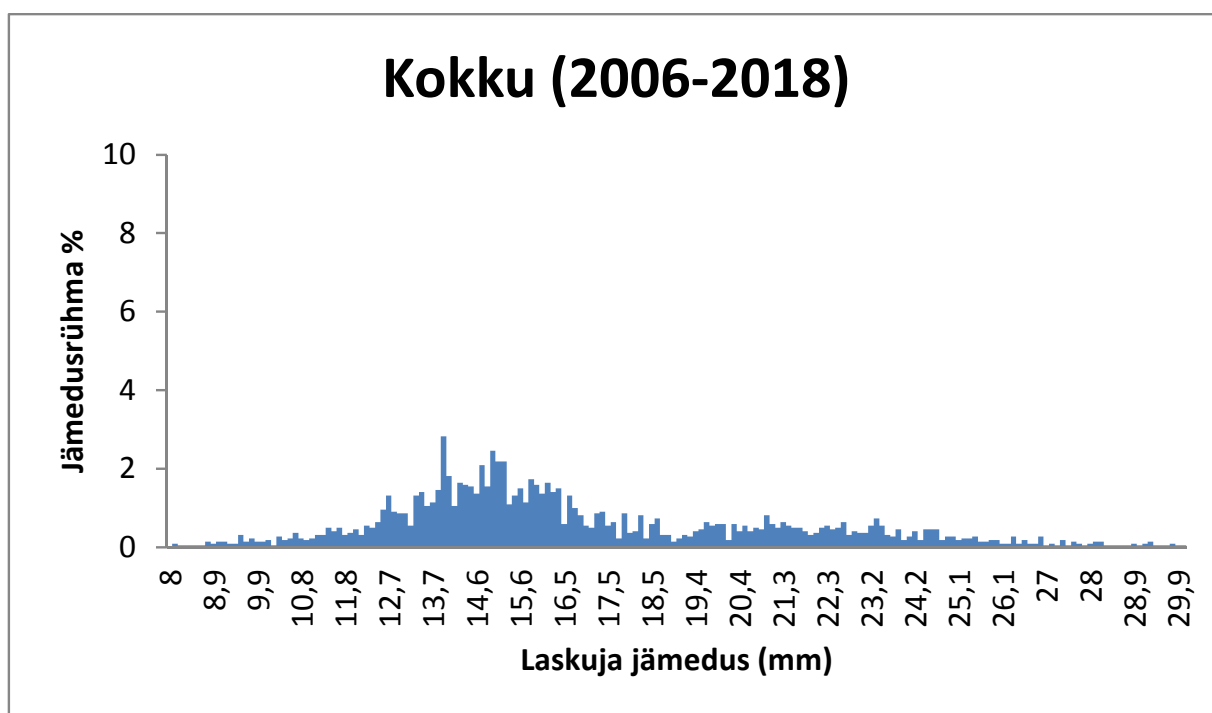
Meriforelli jõest merre laskuvate noorjärkude suurus varieerub võrrelduna lõhe noorjärkudega rohkem. Lisaks varieeruvad meriforelli noorjärkude suurused ka aastate lõikes (Tabel 3 ja 4). Laskujate suuruse erinevuse peamiseks põhjuseks on nende vanuselise struktuuri aastate vaheline varieerumine (Tabel 2). Sõltuvalt tähnikute kasvukiirusest ja arvukusest laskumisperiodile eelneval kasvuhooajal on erinevatel aastatel forelli laskujad valdavalt kas ühe või kahe aastased. Kolme ja nelja aastaste laskujate osakaal on oluliselt väiksem. Detailsem jämeduseline jaotumus on aastate kaupa välja toodud lisas 2. Sarnaselt lõhe noorjärkudele ei takista 25 mm avadega võred praktiliselt ka meriforelli laskujaid (Joonis 2). Seevastu 16 mm laiuste võreavade vahelt mahub läbi 50%, 14 mm võreavade vahelt 23,7% ja 12 mm võreavade vahelt 6,6 % kõigist meriforelli laskujatest. Alternatiivse lahendusena tõkestaks 15x15 mm silmasuurusega võrkvõre 90,9% meriforelli laskujatest.

Tabel 3. Ülevaade Pirita meriforelli laskujate keskmistest suuruselistest näitajatest.

| Aasta | Keskmine täispikkus (mm) | Keskmine mass (g) | Keskmine jämedus (mm) | Keskmine vanus | Kalade arv |
|-------|--------------------------|-------------------|-----------------------|----------------|------------|
| 2006  | 145                      | 25,1              | 17,2                  | 1,5            | 47         |
| 2007  | 193                      | 64,3              | 23,0                  | 2,2            | 9          |
| 2008  | 143                      | 27,9              | 17,0                  | 1,8            | 94         |
| 2009  | 141                      | 26,9              | 16,8                  | 1,7            | 168        |
| 2010  | 130                      | 20,4              | 15,4                  | 1,6            | 237        |
| 2011  | 169                      | 41,7              | 20,2                  | 2,0            | 32         |
| 2012  | 156                      | 37,7              | 18,6                  | 1,9            | 135        |
| 2013  | 118                      | 14,1              | 14,0                  | 1,1            | 140        |
| 2015  | 149                      | 30,3              | 17,7                  | 1,7            | 85         |
| 2014  | 163                      | 39,7              | 19,4                  | 1,8            | 52         |
| 2016  | 140                      | 26,5              | 16,7                  | 1,7            | 443        |
| 2017  | 160                      | 38,7              | 19,0                  | 1,9            | 82         |
| 2018  | 142                      | 28,9              | 16,9                  | 1,5            | 443        |
| Kokku | 142                      | 27,7              | 16,9                  | 1,6            | 1967       |

Tabel 4. Tabel 2. Ülevaade meriforelli laskujate keskmistest suuruselistest näitajatest vanuste kaupa.

| Vanus    | Keskmine täispikkus (mm) | Keskmine mass (g) | Keskmine jämedus (mm) | Kalade arv (n) |
|----------|--------------------------|-------------------|-----------------------|----------------|
| 1        | 116                      | 12,5              | 13,9                  | 5898           |
| 2        | 150                      | 27,8              | 17,9                  | 5420           |
| 3        | 220                      | 93,3              | 26,2                  | 97             |
| 4        | 271                      | 160               | 32,3                  | 1              |
| Keskmine | 133                      | 20,5              | 15,9                  | 11416          |

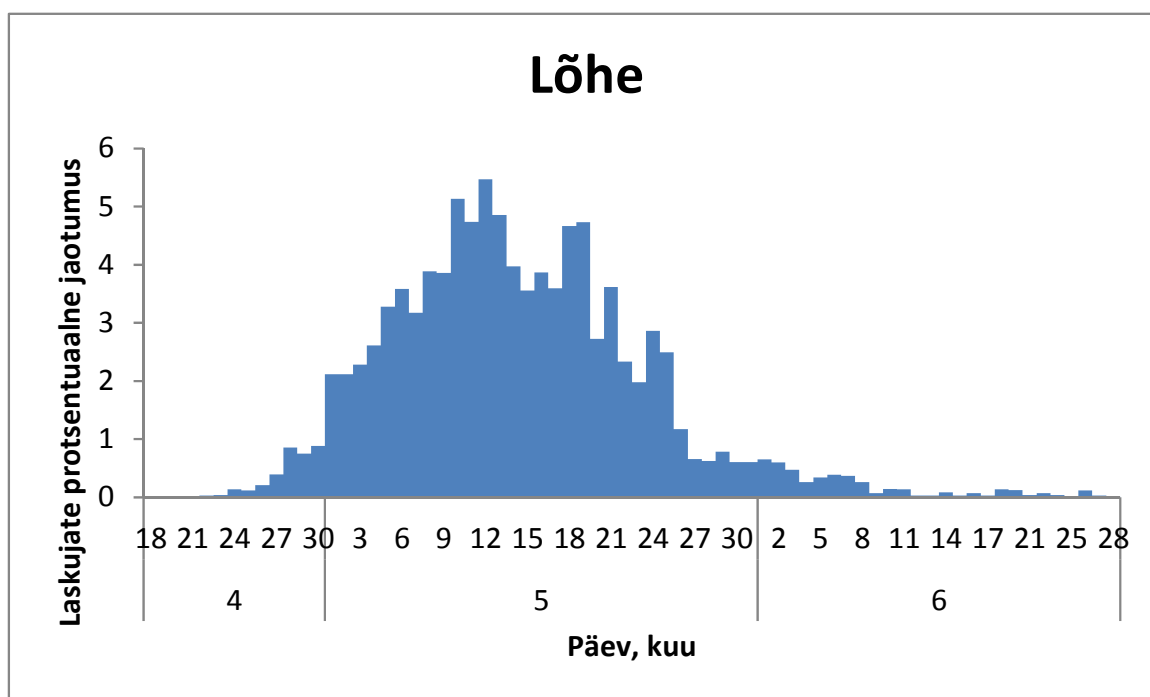


Joonis 2. Ülevaade forelli laskujate jämeduselisest jaotumusest Pirita jões aastatel 2006-2018.

## Allavoolu rände ajaline dünaamika

### Lõhe

Lõhe noorjärkude kevadine ränne jõest merre sõltub eelkõige jõe vooluhulgast ja veetemperatuurist (Jonsson & Ruud-Hansen 1985, Zydlewski *et al.* 2005, Zydlewski *et al.* 2014). Sõltuvalt aastast võib laskunise ajaline periood nihkuda varasemaks või hilisemaks 1-2 nädala võrra. Enne laskumist teevad isendid läbi füsioloogia muutmise, mis võimaldab neil elada soolases merevees. TÜ EMI seirepüükide andmetel (2006-2018) laskub Pirita jões aprillis 3,5%, mais 92% ja juunis 4,5% laskujate koguhulgast.

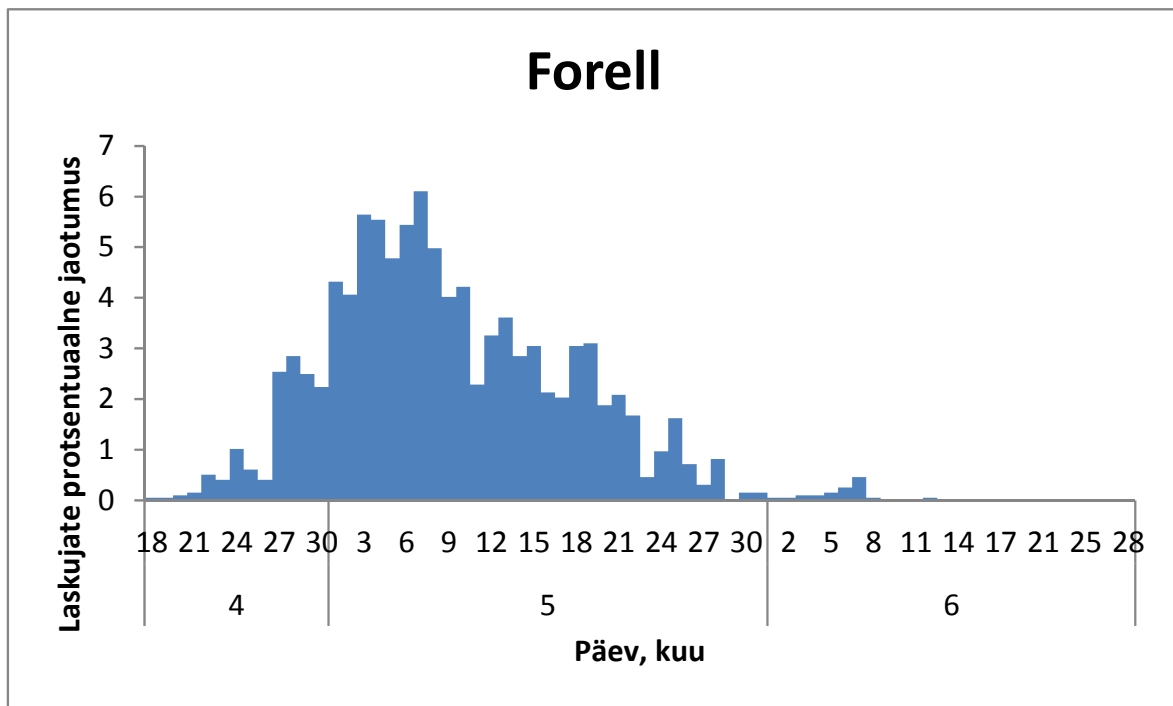


Joonis 3. Ülevaade lõhe laskujate ajalisest jaotumusest Pirita jões aastatel 2006-2018.



## Meriforell

Meriforelli laskujate kevadine ränne jõest merre sõltub eelkõige jõe vooluhulgast, veetemperatuurist ja saadaval oleva toidu hulgest (Boel *et al.* 2014). Enne laskumist teevad forelli noorjargud läbi füsioloogilise muutumise (smoltifitseerumise), mis võimaldab neil elada soolases merevees. Forelli noorjargud laskuvad lõhe noorjarkudest natuke varem. TÜ EMI seirepüükide andmetel (2006-2018) laskub Pirita jões aprillis 3,5%, mais 92% ja juunis 4,5% meriforelli laskujate koguhulgast. Enne 25 aprilli laskunud forellide osakaal oli 2,3%.



Joonis 4. Ülevaade meriforelli laskujate ajalisest jaotumusest Pirita jões aastatel 2006-2018.

## Kalavõrede hüdrotehniline hinnang

*Rein Kitsing*

Nimetatud kolme hüdroelektrijaama turbiinide sissevoolu kanalite ees on teraspiidest prahivõred, mille keskmiselt 5 mm paksuste piide vahe on 25 mm. Võrepiid ahendavad veevoolu ristlõiget ca 17% võrra. Veevoolu kiirus võres on kuni 0,5 m/s (Joaveski, teistes väiksem), mis tekitab puhtas võres väikese mõne cm rõhukao.

Võredes piidevahega 12 mm, 14 mm ja 16 mm on veevoolu ristlõige ahendatud vastavalt 30%, 26% ja 24 % võrra. Veevoolu kiirus kõige kitsama piidevahega (12 mm) võres suureneks kuni 0,6 m/s (Joaveski, teistes vähem), põhjustamata märgatavat rõhukadu. Märgatav enam kui 0,1 m rõhukadu võredes tekib nende ummistumisel ujuvprahiga.

Tihedama piidevahedega võredel 12 mm, 14 mm ja 16 mm on terasekulu vastavalt 1,75, 1,6 ja 1,4 korda suurem, võrreldes 25 mm piidevahega võrega.

Joaveski HEJ piidega võrele on paigaldatud täiendavalt tihedam võrkvõre (foto 1). Terasvõrk silmaga 15x15 mm on kinnitatud nurkterasest raamile. Võrkvõre saab koos prahiga veest välja tõmmata ja puhtaks kallata. Kogu sellise võresüsteemi vooluristlõike ahendus on 40%. Veevoolu kiirus otse võrkvõre avades on 0,7 m/s, mis edasi piide vahel on 0,5 m/s.

Kui ühe võreseksiooni mõõtmeks on 1x1 m, milles terasraam on nurkprofiilist 30x3 mm, võrk 2 mm terastraadist silmaga 15x15 mm, siis on tsingitud terasest võreseksiooni kaal 9 kg.

Soovitav on Kunda ja Sillaoru hüdroelektrijaamades kasutada ka sarnast võrkvõredega lahendust.

Tabel 5. Võrede võrdlustabel.

| <b>Nimetus</b>               | <b>Joaveski HEJ</b> | <b>Kunda III (IMG) HEJ</b> | <b>Sillaoru HEJ</b> |
|------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| Võre pindala, m <sup>2</sup> | 17,4                | 28,4                       | 22,8                |
| <b>Võre 12 mm</b>            |                     |                            |                     |
| kaal, kg                     | 1230                | 2000                       | 1600                |
| maksumus EUR                 | 3700                | 6000                       | 4800                |
| <b>Võre 14 mm</b>            |                     |                            |                     |
| kaal, kg                     | 1100                | 1790                       | 1440                |
| maksumus EUR                 | 3300                | 5400                       | 4300                |
| <b>Võre 16 mm</b>            |                     |                            |                     |
| kaal, kg                     | 1000                | 1620                       | 1300                |
| maksumus EUR                 | 3000                | 4900                       | 3900                |
| <b>Võrkvõre</b>              |                     |                            |                     |
| kaal, kg                     | 160                 | 260                        | 210                 |
| maksumus EUR                 | 500                 | 800                        | 650                 |



**Foto 1** Joaveski HEJ pealevoolukanali võresõlm, võrkvõred piidega võrel 5,8x3 m.



**Foto 2** Kunda III (IMG) HEJ sissevoolu võresõlm, piidega võre 7,1x4 m.



**Foto 3** Sillaoru HEJ pealevoolukanali võresõlm, piidega võre 8,45x2,7 m on vee all, nähtav on võre kohal teraslehest prahitõke.

## Kokkuvõte

Pirita jõe näitel takistab efektiivselt laskujate sattumist turbiini  $\leq 12$  mm piidevahedega võre või 15x15 mm võrkvõre. Sellisel juhul ei mahuks läbi võre üle 90 % lõhe ja meriforelli laskujatest. Suuremate võre avade puhul (14, 16, 25 mm) on läbi mahtuvate kalade osakaal mõlema liigi puhul oluliselt rohkem kui 20%.

Eesti tingimustes hakkavad forelli noorjärgud võrrelduna lõhedega kevadel varem jõgedest merre rändama. Samuti lõppeb forelli noorjärkude ränne lõhe noorjärkudest varem. Aprilli kuu jooksul laskub kõikidest nimetatud liigi kevadistest laskujatest vastavalt 13,4% forellist ja 3,5% lõhest. Forelli laskujate kaitsmiseks oleks mõttekas lisavõred paigutada HEJ turbiinikanalite ette alates 25 aprillist. Enne 25 aprilli rändavate forellide osakaal on kõigest 2,3%. Mõlema liigi peamiseks rändeperioodiks on eelkõige mai kuu. Seetõttu on kogu mai kuu jooksul vajalik võresid HEJ turbiinikanalite ees hoida. Juunis laskuvate kalade osakaal on nii lõhe kui ka forelli puhul suhteliselt väike (lõhel vastavalt 4,5% ja forellil 1,3%). Veel enam, TÜ EMI andmetel rändavad peale 5 juunit merre vaid 0,8% forellidest ja 2,2% lõhedest.

Mõlema liigi kevadise rändeperioodi katmiseks (99% mõlema liigi rändeperioodist kaetud), tuleks  $\leq 12$  mm piidevahega või silmasuurusega 15x15 mm võrkvõret kasutada 15 aprillist kuni 15 juunini.

Töös käsitletud peenemaid võresid tuleb oluliselt tihedamini puhastada ning sellega kaasneb HEJ-des täiendav tööjõu kulu. Kui võred hoitakse puhtana, siis elektri tootmine HEJ-des ei vähene. Võrkvõre suureks eeliseks on nende kergus ja oluliselt madalam hind. Võrkvõrede paneele on lihtne puhastamiseks eemaldada ning selline toiming on oluliselt lihtsam kui vees olevate statsionaarselt paigaldatud võrede puhastamine. Seetõttu tuleb 15x15 mm silmasuurusega võrkvõre kasutamist laskujate täiendavaks tõkestamiseks HEJ-des lugeda kõige perspektiivikamaks.

## Kasutatud kirjandus

Aarestup K. Koed A. 2003. Survival of migrating sea trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiating weirs in small Danish rivers. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 169-176.

Boel M., Aarestrup K., Baktoft H., Larsen H., Søndergaard S.M., Malte H., Skov C., Svendsen J.C. & Koed A. 2014. The Physiological Basis of the Migration Continuum in Brown Trout (*Salmo trutta*). *Physiological and Biochemical Zoology* 92: 334-345.

Calles O. & Greenberg L. 2009. Connectivity is a two-way street—the need for a holistic approach to fish passage problem in regulated rivers. *River Research and Applications* 25: 1268-1286.

Fergusson J., Absolon R., Carlson T. & Sandford B. 2006. Evidence of Delayed Mortality on Juvenile Pacific Salmon Passing through Turbines at Columbia River Dams. *Transaction of the American Fisheries Society* 135: 139-150.

Gousskov A., Reyes M., Wirthner-Bitterlin L. & Vorburger C. Fish population genetic structure shaped by hydroelectric power plants in the upper Rhine catchment. *Evolutionary Applications* 9: 394-408.

Gustafson S. 2010. Migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at a hydropower station area in River Åbyälven, Northern Sweden – Passage fates at a reservoir, a power house and a bypass structure. Umeå.

Jonsson B. & Ruud-Hansen J. 1985. Water temperature as the primary influence on timing of seaward migration of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 593–959.

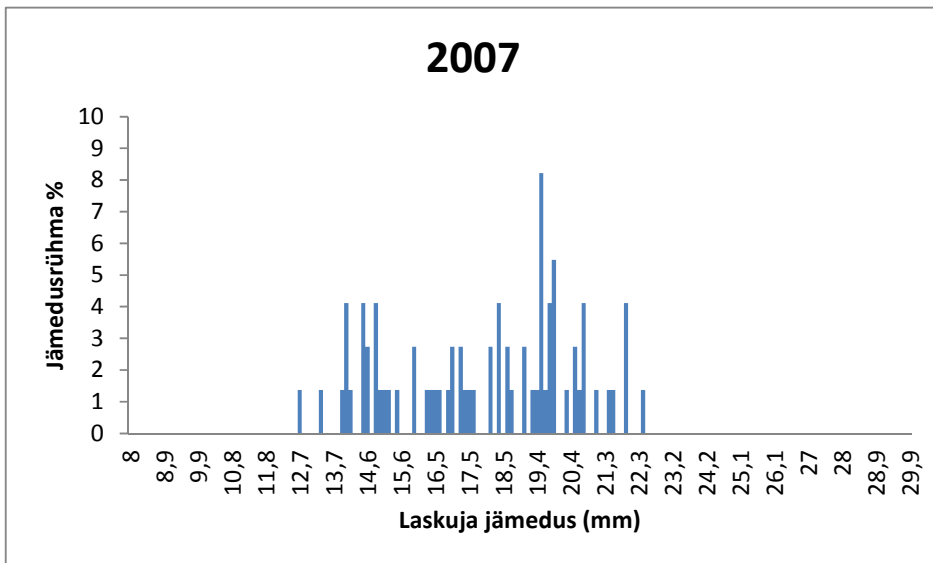
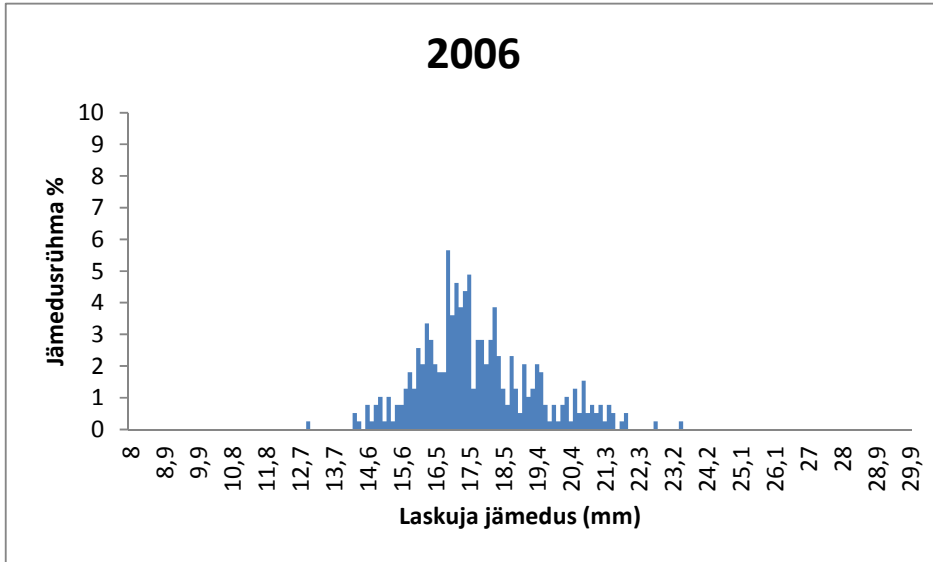
Svendsen J. D., Eskesen A. O., Aarestrup K., Koed A. & Jordan A. D. 2007. Evidence for non-random spatial position of migrating smolts (*Salmonidae*) in a small lowland stream. *Freshwater Biology* 52 (6): 1147-1158.

Zydlewski G. B., Haro A. & McCormick S. D. 2005. Evidence of cumulative temperature as initiating and terminating factor in downstream behavior of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 68–78.

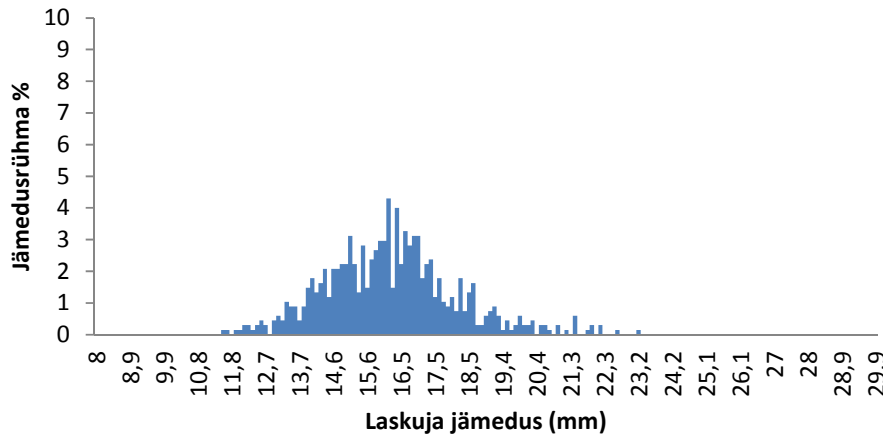
Zydlewski G.B., Stich D.S. & McCormick S.D. 2014. Photoperiod control of downstream movement of Atlantic salmon *Salmo salar* smolts. *Journal of Fish Biology* 85: 1023–1041.



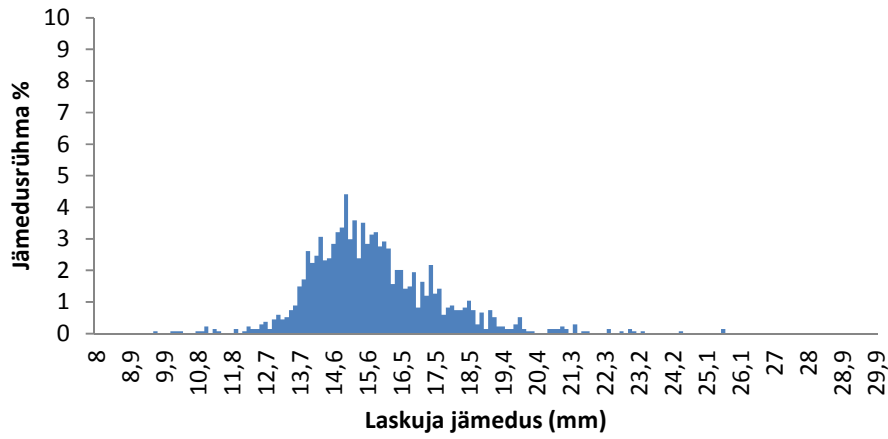
**Lisa 1. Ülevaade lõhe jämeduselisest jaotumusest aastate kaupa (2006-2018)**

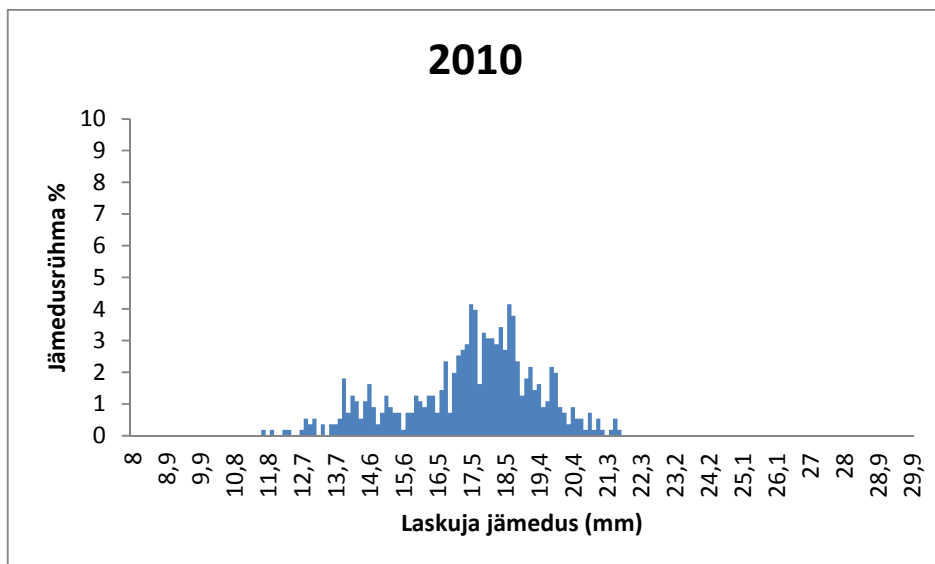
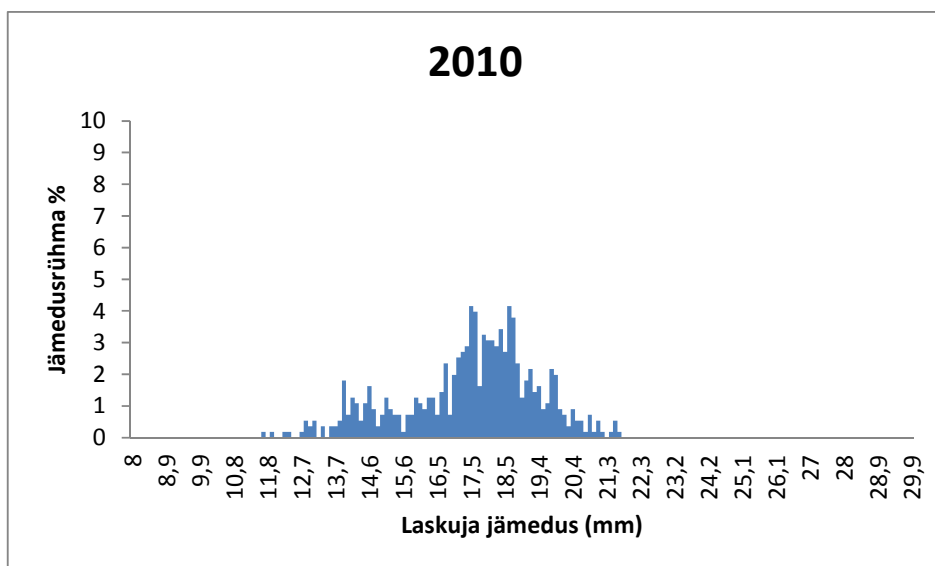


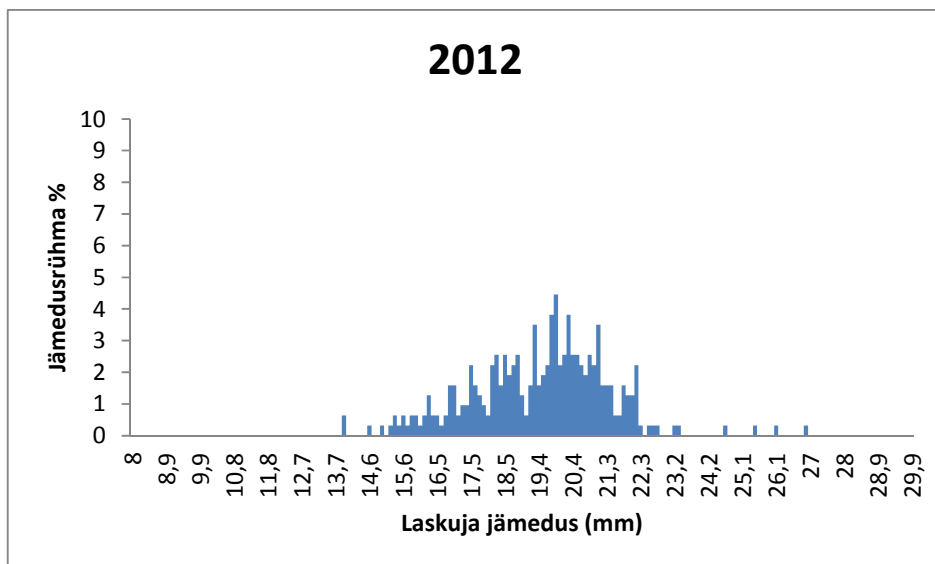
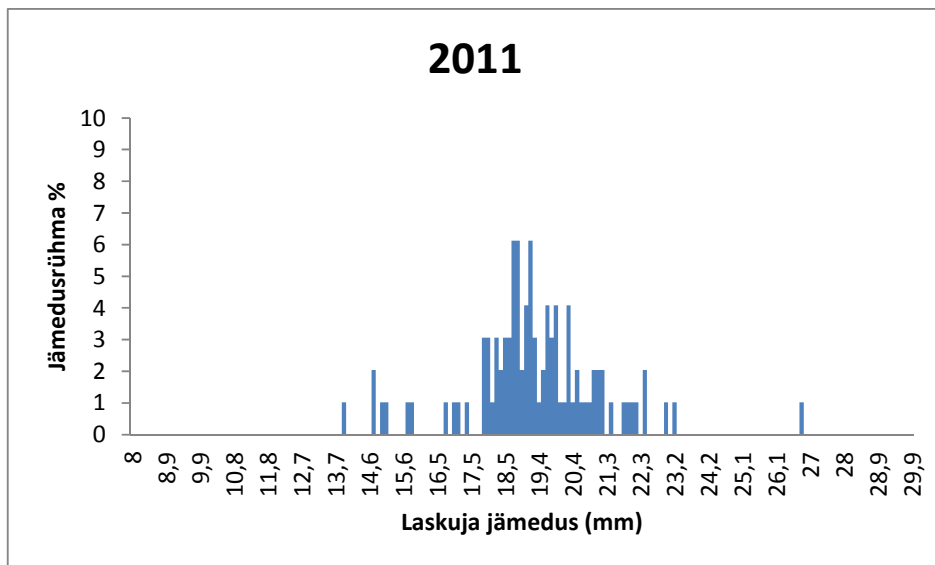
## 2008



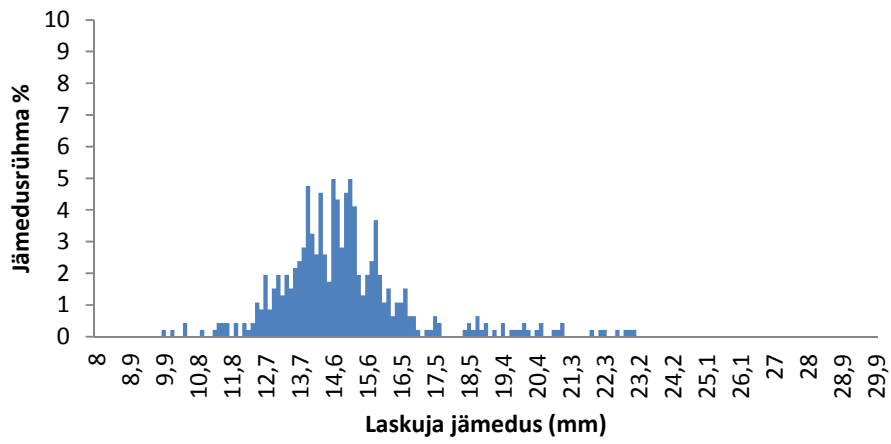
## 2009



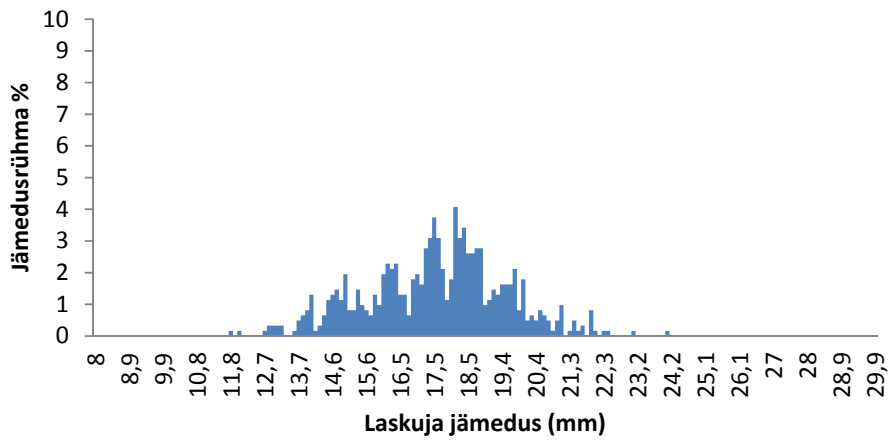




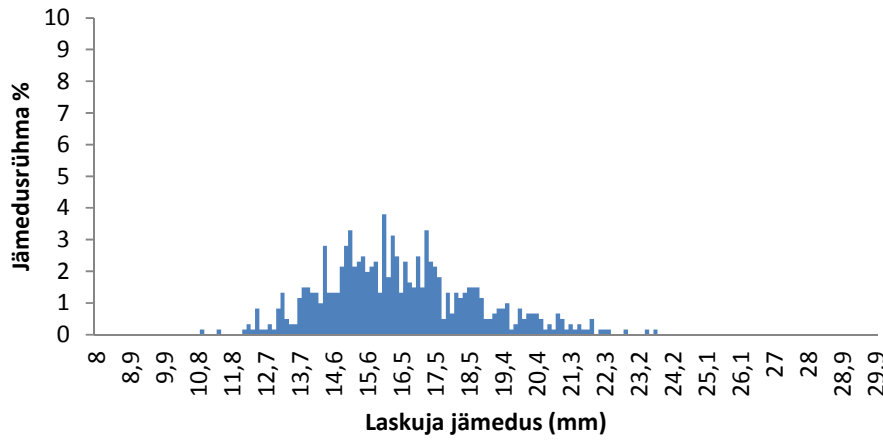
### 2013



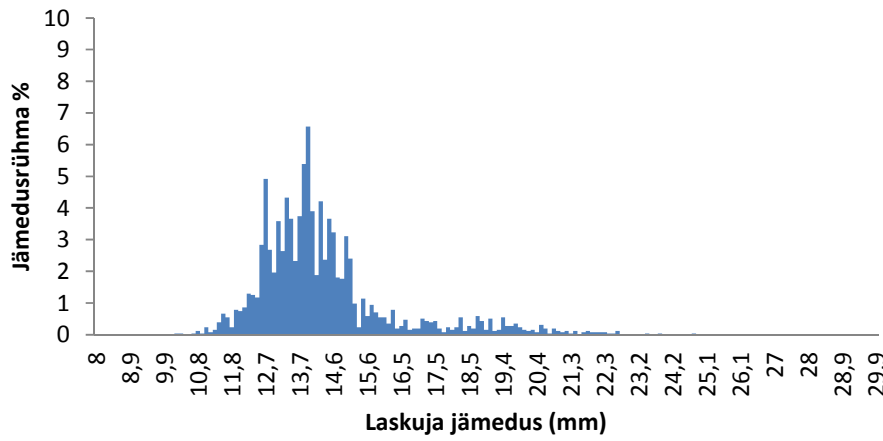
### 2014

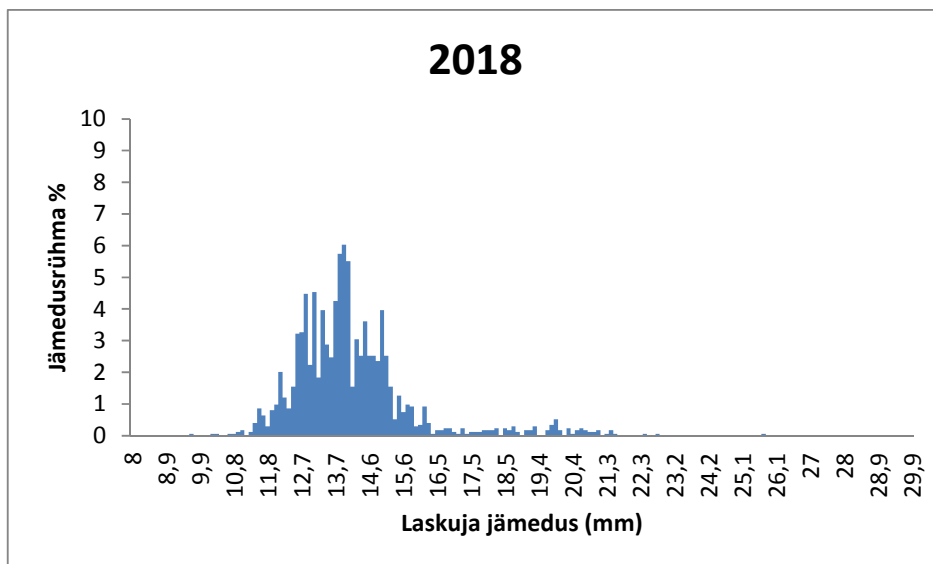
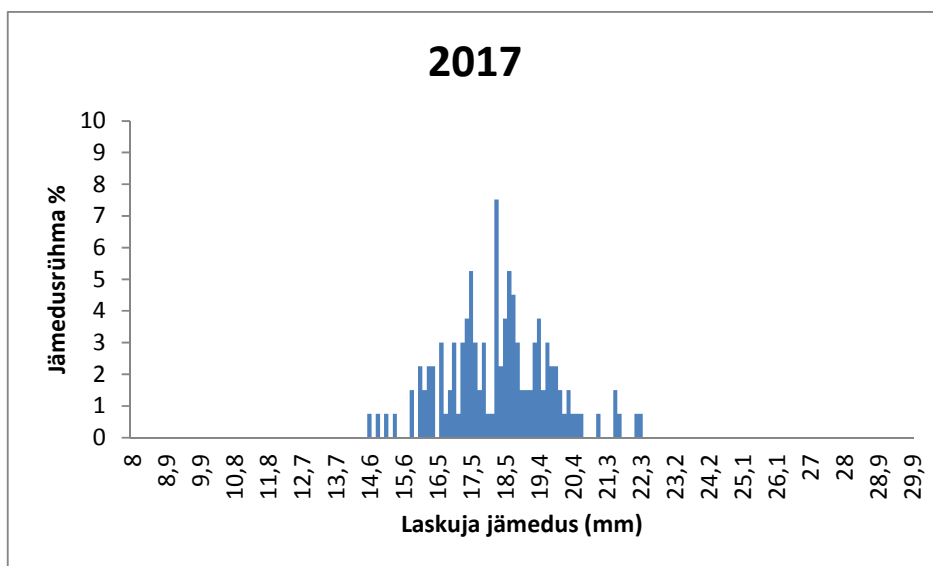


## 2015

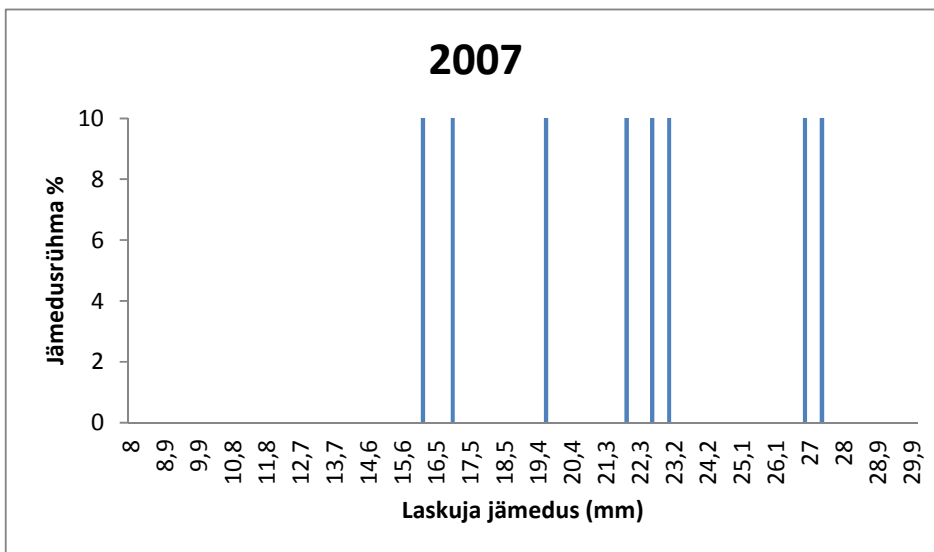
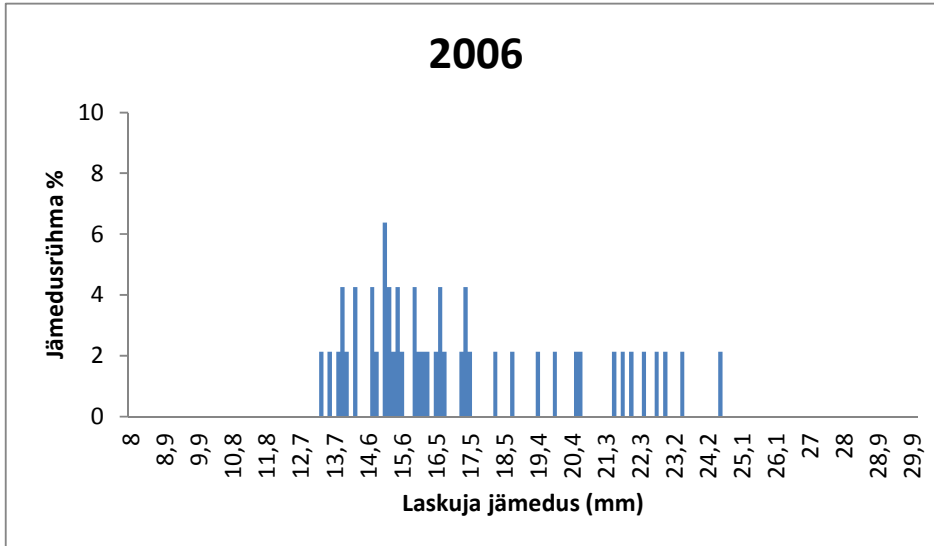


## 2016

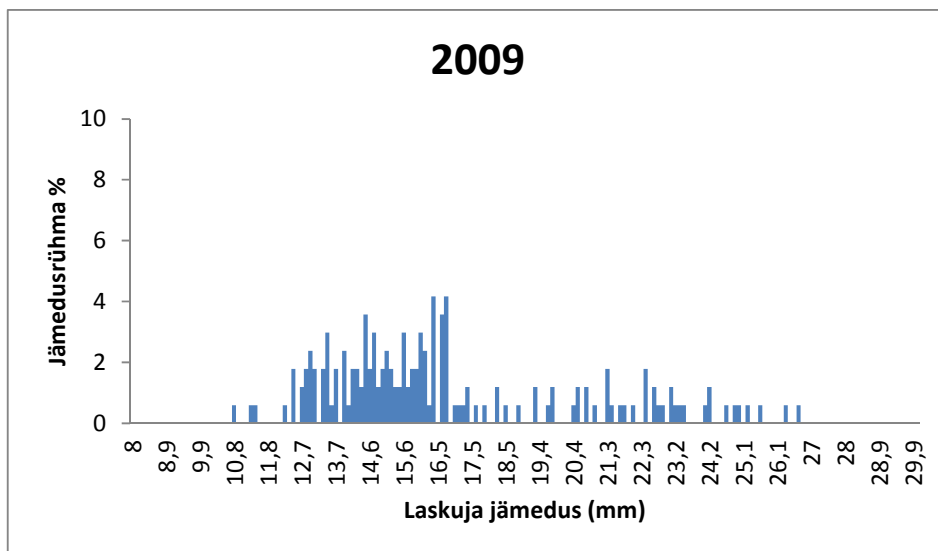
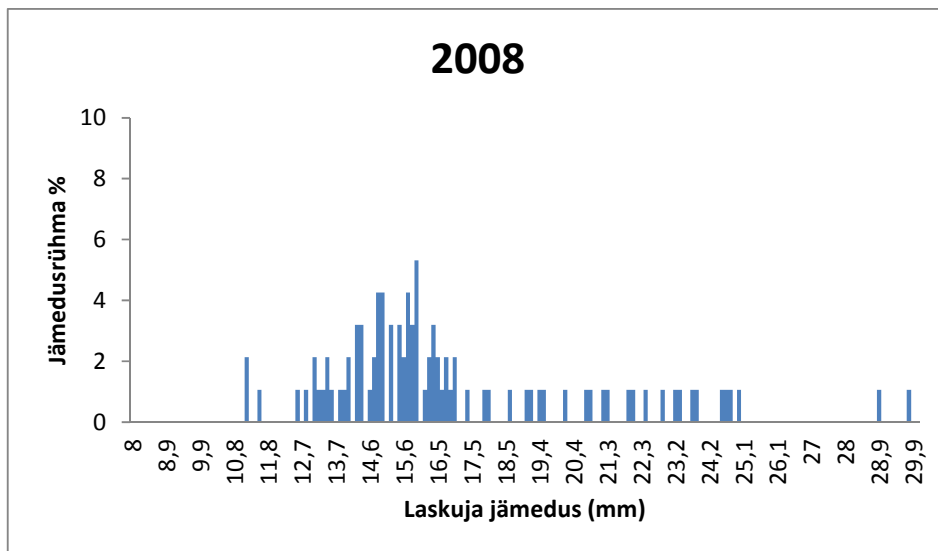


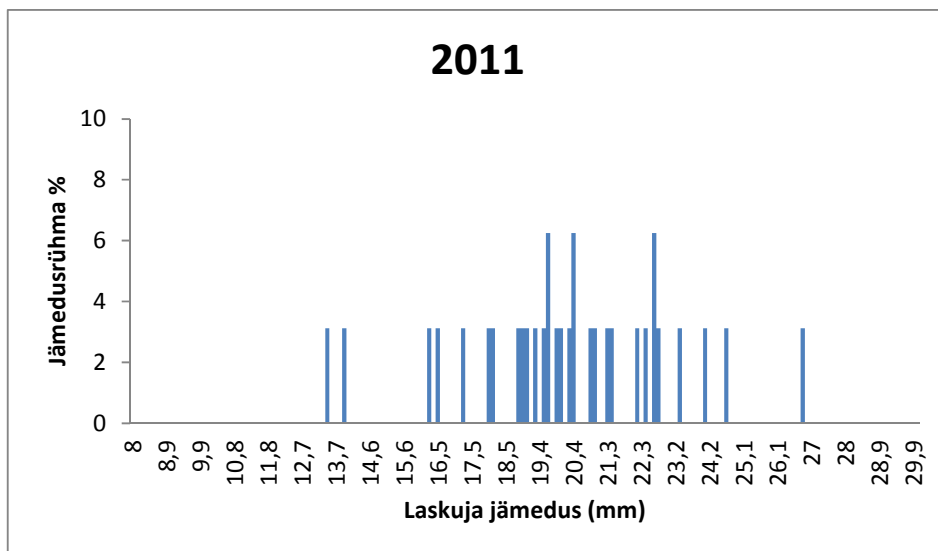
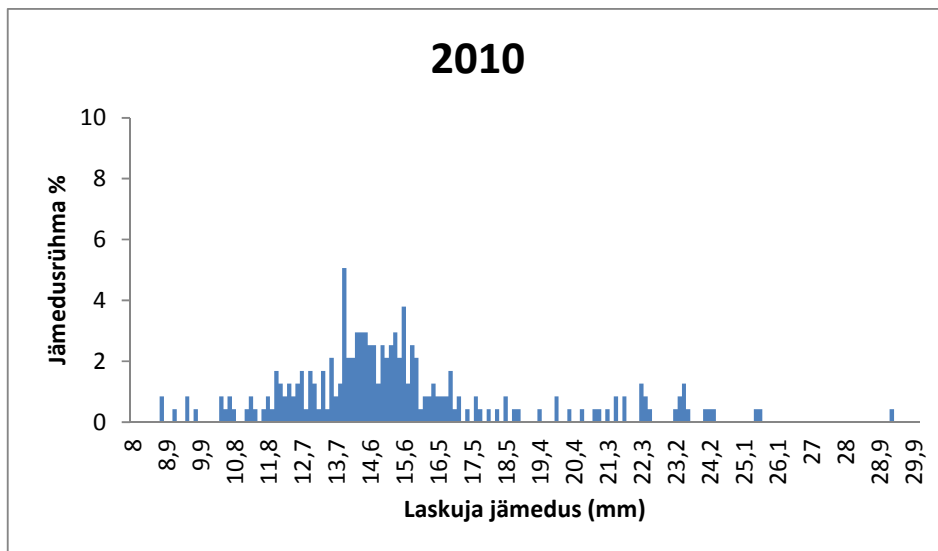


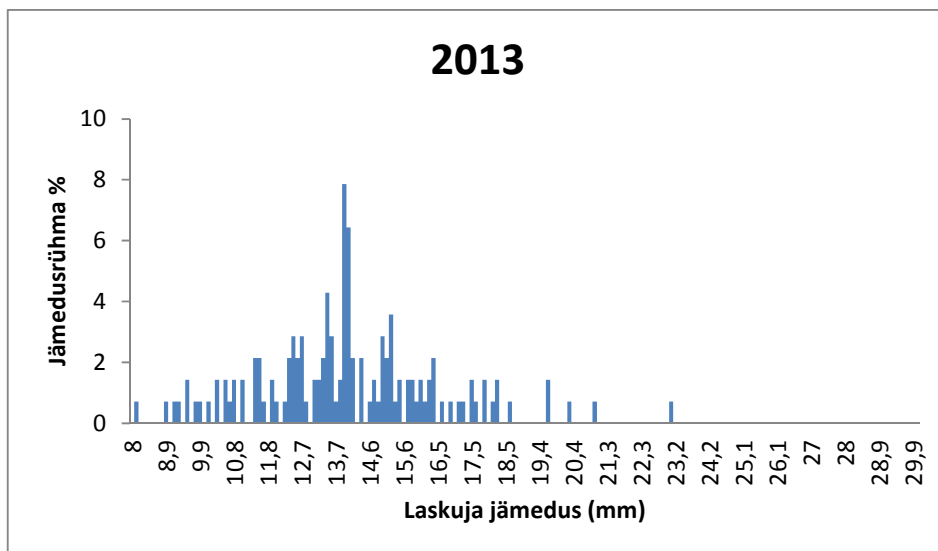
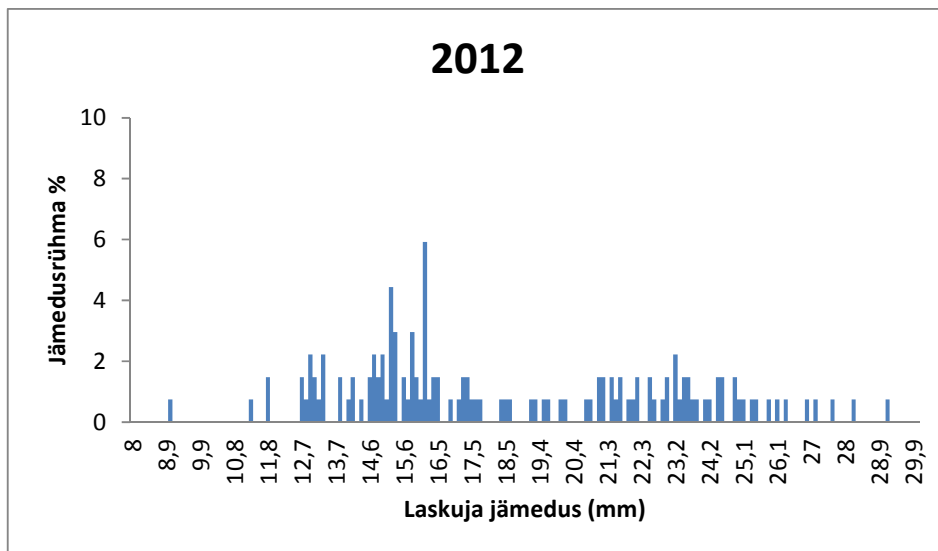
**Lisa 2. Ülevaade meriforelli jämeduselisest jaotumusest aastate kaupa (2006-2018)**

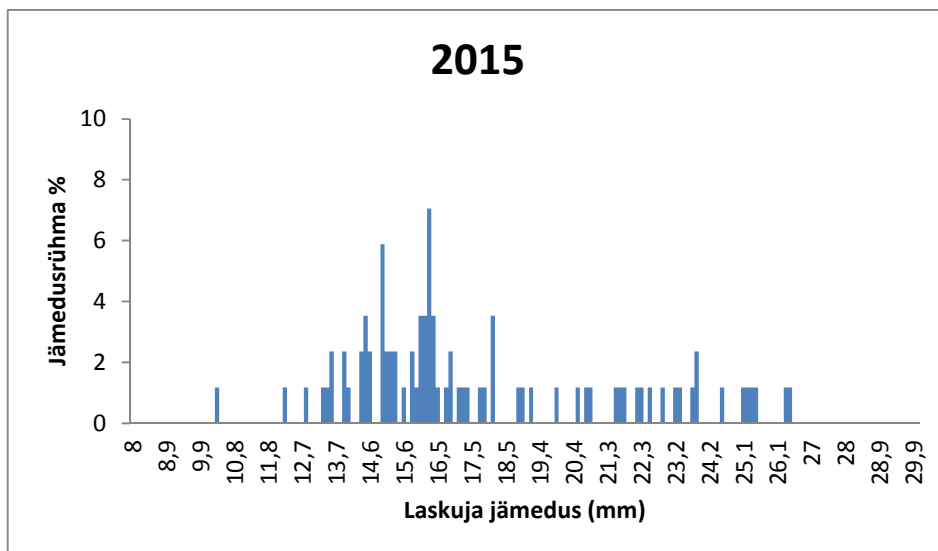
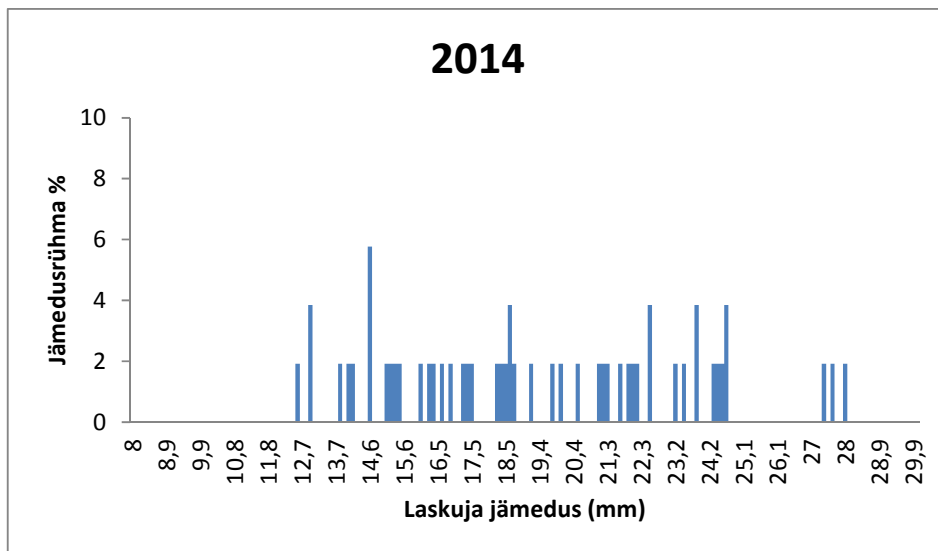


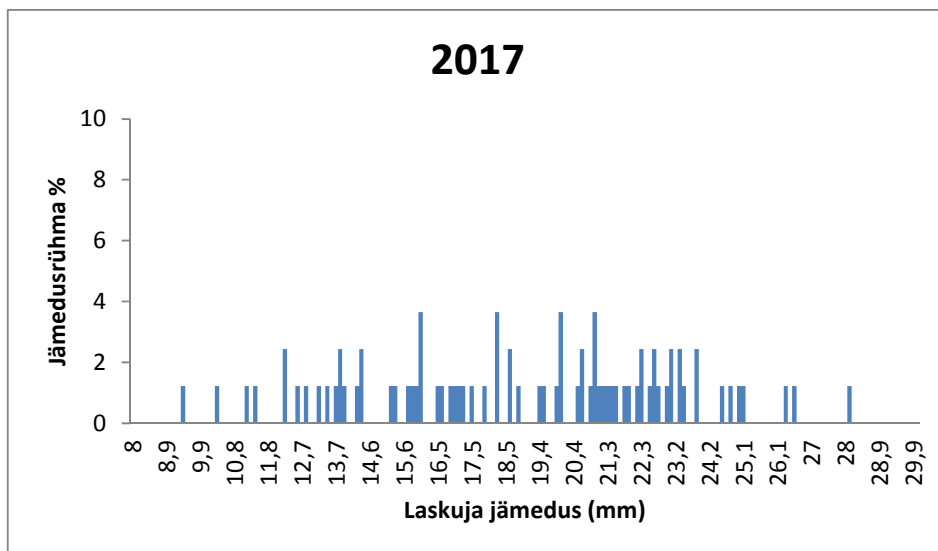
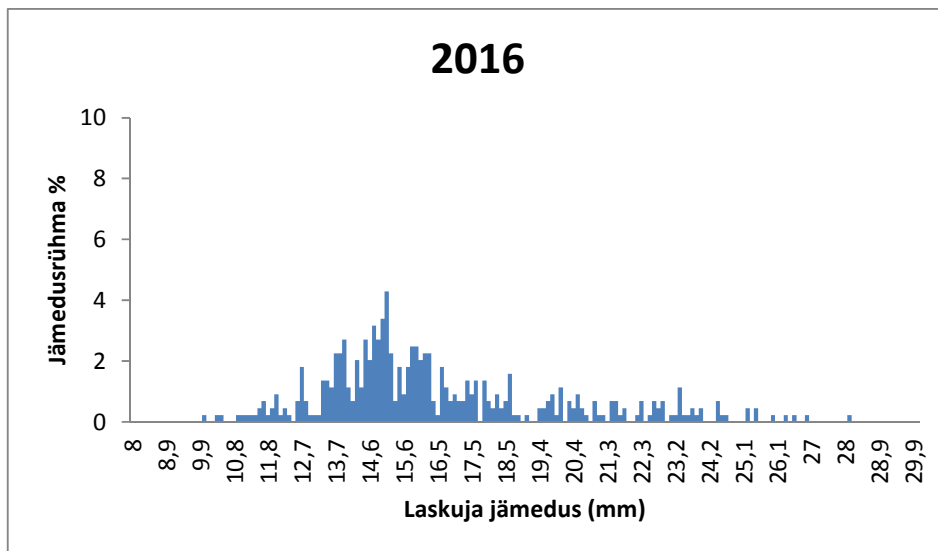












# 2018

