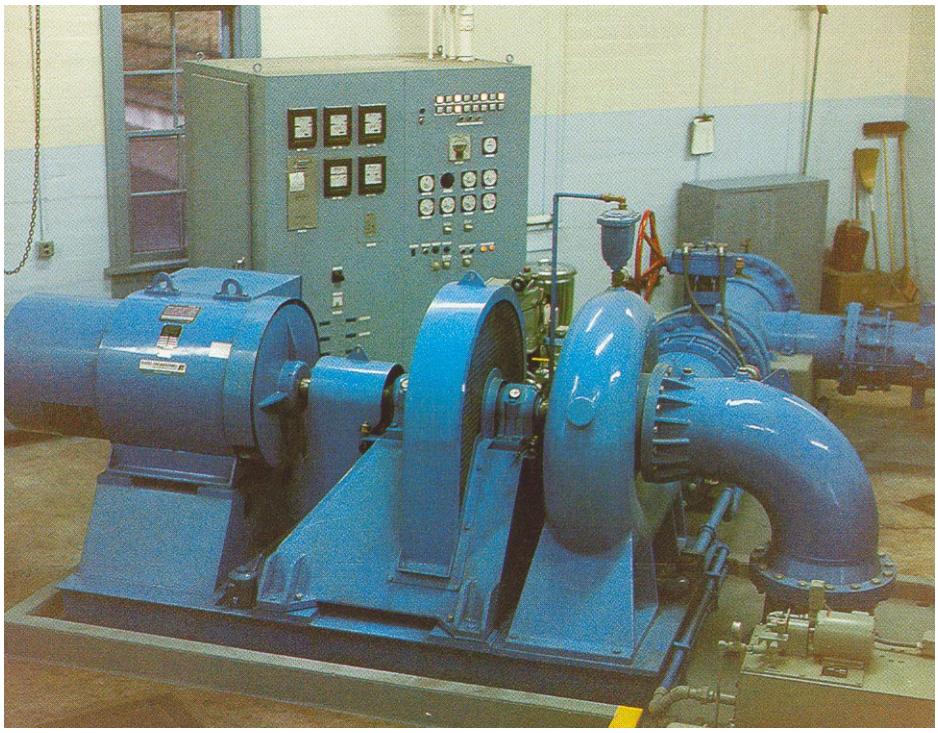
Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið

LITLAR VATNSAFLSVIRKJANIR



KYNNING
OG
LEIÐBEININGAR UM UNDIRBÚNING

VGK
Verkfræðistofa

FEBRÚAR 2003

Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið

LITLAR VATNSAFLSVIRKJANIR

KYNNING
OG
LEIÐBEININGAR UM UNDIRBÚNING

FEBRÚAR 2003

VGK 2003

EFNISYFIRLIT

ORÐSKÝRINGAR V

1 INNGANGUR 1

2 ALMENNT YFIRLIT YFIR VIRKJANIR 3

2.1 FLOKKUN LÍTILLA VIRKJANA 3
2.1.1 Uppsett afl 3
2.1.2 Virkjuð fallhæð 3
2.1.3 Rennslisvirkjun eða virkjun með miðlunarlóni 3
2.2 HELSTU HLUTAR VIRKJUNAR 4
2.3 STAÐSETNING 5

3 NÝTANLEGT VATNSAFL OG VATNSORKA 7

3.1 RENNSLI 7
3.2 FALLHÆÐ 9
3.3 VATNSAFL 10
3.4 VATNSORKA 11

4 VATNAMÆLINGAR OG JARÐFRÆÐI 13

4.1 ALMENNT 13
4.2 VATNAMÆLINGAR 13
4.3 JARÐFRÆÐI 14

5 MANNVIRKI 15

5.1 INNTAKSMANNVIRKI 15
5.2 STÖÐVARHÚS 18
5.3 VATNSVEGIR 19

6 VÉL- OG RAFBÚNAÐUR 23

6.1 VATNSHVERFLAR- YFIRLIT 23
6.2 VIRKNISVIÐ VATNSHVERFLA 30
6.3 NÝTNI 30
6.4 LOKAR OG LOKUR 32
6.5 RAFBÚNAÐUR 33
6.5.1 Rafkerfi, almennt 33
6.5.2 Helstu hugtök raffræðinnar 33
6.5.3 Munurinn á einfasa og þrífasa rafkerfum 35
6.5.4 Rafalinn 36
6.5.5 Snúningshraði rafala 38

7 RÁÐSTÖFUN ORKU 40

7.1 RÁÐSTÖFUN RAFORKU 40
7.2 TENGING VIÐ DREIFIKERFIÐ 41
7.2.1 Varnarbúnaður 42

8 UMHVERFISMÁL 46

8.1 ALMENNT 46

VGK 2003

8.2 UMHVERFISÁHRIF Á FRAMKVÆMDATÍMA 46
8.3 UMHVERFISÁHRIF Á REKSTRARTÍMA 46

9 SAMSKIPTI VIÐ OPINBERA AÐILA 48

9.1 ALMENNT 48
9.2 OPINBERIR AÐILAR 48
9.2.1 Iðnaðar- og viðskiptaráðuneyti 48
9.2.2 Skipulagsstofnun 48
9.2.3 Sveitarstjórn, skipulagsfulltrúi og byggingarfulltrúi 48
9.2.4 Orkustofnun 49
9.2.5 Rafveitur 49
9.2.6 Löggildingarstofa 49
9.2.7 Umhverfisstofnun 49
9.2.8 Veiðimálastjóri 49
9.2.9 Veiðimálastofnun 49
9.2.10 Opinberar lánastofnanir 50
9.3 LÖG OG REGLUGERÐIR 50

10 LEYFI 52

10.1 ALMENNT 52
10.2 ÁKVÖRÐUN UM MATSSKYLDU 52
10.3 VIRKJUNARLEYFI 52
10.4 FRAMKVÆMDALEYFI 52
10.5 BYGGINGARLEYFI 53
10.6 STARFSLEYFI 53
10.7 HEIMILD VEIÐIMÁLASTJÓRA 53
10.8 LEYFI FORNLEIFAVERNDAR RÍKISINS 54

11 STOFNKOSTNAÐUR, ARÐSEMI OG FJÁRMÖGNUN 56

11.1 STOFNKOSTNAÐUR 56
11.2 ARÐSEMI 58
11.3 FJÁRMÖGNUN 60

12 SAMNINGAR 62

13 LEIÐBEINANDI AÐILAR 64

14 UNDIRBÚNINGUR OG UPPBYGGING SMÁVIRKJANA 66

14.1 FRUMATHUGUN 67
14.2 FAGLEGT MAT Á VIRKJUNARKOSTI (FORHÖNNUN OG ARÐSEMISMAT) 68
14.3 UNDIRBÚNINGUR FRAMKVÆMDA (VERKHÖNNUN OG FJÁRMÖGNUN) 69

HEIMILDIR OG ÍTAREFNI 72

VIÐAUKAR

VI Stefna Rarik í viðskiptum við smávirkjanir
VII Dæmi um samninga við Rafmagnsveitur ríkisins
VIII Gátlistar
IV Verklýsing VL5 frá Löggildingarstofu, leiðbeiningar um setningu smávirkjana

MYNDIR

Mynd 2.1 Virkjun með hjáveitu og inntaki í sama mannvirki. Þrýstipípan er lögð frá inntakinu að stöðvarhúsinu án jöfnunarþróar 5
Mynd 2.2 Virkjun með hjáveitu og inntaki í sama mannvirki. Frá inntakinu er lögð lágþrýstilögn að jöfnunarþró og þrýstipípa þaðan og að stöðvarhúsinu 5
Mynd 2.3 Virkjun með hjáveitu þar sem vatninu er veitt í skurði um nokkurn veg að inntaki. Þrýstipípa liggur frá inntakinu að stöðvarhúsinu 5
Mynd 2.4 Virkjun með hjáveitu, inntaki og stöðvarhúsi í sama mannvirki. Í því tilviki er þrýstipípan einungis stuttur leggur frá inntakinu að túrbínunni....5
Mynd 3.1 Langæislína sýnir hlutfallslegt rennsli sem fall af hlutfallslegum tíma 8
Mynd 3.2 Langæislína sýnir rennsli sem fall af tíma 8
Mynd 3.3 Nýtanleg fallhæð fyrir Pelton hverfil 9
Mynd 3.4 Nýtanleg fallhæð fyrir Francis hverfil....9
Mynd 5.1 Dæmi um fyrirkomulag við inntakslón....16
Mynd 5.2 Inntaksmannvirki 17
Mynd 6.1 Bunustútar fyrir Pelton og Turgo 23
Mynd 6.2 Pelton hverfill með einn bunustút 24
Mynd 6.3 Vatnshjól fyrir Pelton hverfil 24
Mynd 6.4 Tveggja stúta Pelton hverfill 24
Mynd 6.5 Vatnshjól fyrir Turgo hverfil....25
Mynd 6.6 Snið í Francis hverfil með lóðréttan ás 25
Mynd 6.7 Mismunandi gerðir vatnshjóla fyrir Francis hverfla eftir fallhæð. N_q er eðlishraði hverfils, sjá kafla 6.2 25
Mynd 6.8 Langsnið og þversnið Francis hverfils með láréttan snúningsás....26
Mynd 6.9 Francis hverfill 26
Mynd 6.10 Snið í Kaplan hverfil með lóðréttan ás 26
Mynd 6.11 Langsnið í ásstreymishverfla, tveir þeir efri eru tunnuhverflar en neðst er peruhverfill 27
Mynd 6.12 Langsnið í ásstreymishverfla, mismunandi fyrirkomulag 27
Mynd 6.13 Snið í Cross Flow hverfil 28
Mynd 6.14 Dæmi um virknisvið lítilla hverfla....29
Mynd 6.15 Samhengi eðlishraða og fallhæðar sem hentar mismunandi hverflum 29
Mynd 6.16 Nýtni mismunandi gerða lítilla vatnshverfla....31
Mynd 6.17 Aflstuðullinn 35
Mynd 6.18 Þrífasa rafkerfi 3/N~400/230 V 35
Mynd 6.19 Þrífasa rafkerfi 3/230 V....35
Mynd 6.20 Tvífasa rafkerfi 2/N~460/230 V....35
Mynd 6.21 Einfasa riðspenna 36
Mynd 6.22 Þrífasa riðspenna 36
Mynd 6.23 Kennilínur ósamfasa hreyfils/rafals 37
Mynd 6.24 Þversnið af einfasa rafala með einu pólpari 39

VGK 2003

Mynd 6.25 Þversnið af einfasa rafala með tveimur pólpörum 39
Mynd 6.26 Þversnið af þrífasa rafala með einu pólpari 39
Mynd 6.27 Dæmigerður samfasa 39
Mynd 6.28 Tengimöguleikar einfasa/tvífasa samfasa rafala með sjálfsegulmögnun 39
Mynd 7.1 Kerfismynd af dæmigerðri virkjun með samfasa rafala tengdum við raforkudreifikerfi 43
Mynd 7.2 Kerfismynd af dæmigerðri virkjun með ósamfasa rafala tengdum við dreifikerfið 44
Mynd 7.3 Tvær mismunandi tengingar virkjunar við dreifikerfi rafveitu 45
Mynd 11.1 Stofnkostnaður (án vsk.) sem fall af uppsettu afli og fallhæð 57

TÖFLUR

Tafla 6.1 Staðlaður samfasa snúningshraði mótora/rafala við 50 Hz 38
Tafla 11.1 Tilbúið dæmi, samantekt stofnkostnaðar fyrir 100 kW virkjun 57
Tafla 11.2 Tilbúið dæmi, forsendur arðsemisútreikninga 58
Tafla 11.3 Tilbúin dæmi, framleiðslukostnaður raforku miðað við mismunandi forsendur 59
Tafla 11.4 Tilbúið dæmi 1, útreiknaður framleiðslukostnaður raforku 59
Tafla 11.5 Tilbúið dæmi 2, útreiknaður framleiðslukostnaður raforku 60

ORÐSKÝRINGAR

Orð	***Skýring***	***Kafli/ Viðauki nr.***
Afhendingarstaður virkjunar	Tengipunktur dreifikerfis við virkjun, sjá myndir 7.1, 7.2 og 7.3	7.2
Aflstuðull	Hlutfallið sem fæst með því að deila sýndaraflinu upp í raunaflið	6.5.2
Arðsemi	Ágóði, tekjur umfram gjöld, gjarnan mælt í prósentum af því fé sem lagt er til grundvallar	11.2
Botnrás	Rás út úr lóni, nálægt botni, sem hægt er að nota til að lækka í lóninu eða tæma það	5.1
Byggingarleyfi	Leyfi sveitarstjórnar fyrir varanlegum húsbyggingum og tengivirkjum virkjunar	9.2.3, 10.5
Dragá	Vatnsfall með óglögg upptök og myndast úr mörgum lækjum og sytrum	4.2
Dreifikerfi rafveitu	Rafkerfið frá flutningskerfi (33 kV og 66 kV) að tengipunkti við notanda	7.2
Eðlishraði hverfils	Kennistærð hverfils, sem notuð er við hönnun og val hverfla fyrir mismunandi aðstæður	6.2
Eigin notkun	Raforkunotkun virkjunareigenda til eigin þarfa	7.1
Einfasa rafmagn	Í einfasa lágspenntu rafkerfi er raforkan flutt eftir tveimur leiðurum, sbr. mynd 6.18, 6.19 og 6.20 þar sem riðspennan (230 V) er mæld á milli tveggja leiðara (fasa) eða á milli fasa og N eftir því sem við á.	6.5.3
Fallhæð	Hæðarmunur í landi sem nýttur er til að knýja vatnshverfil	3.2
Framkvæmdaleyfi	Leyfi sveitarstjórnar fyrir meiri háttar framkvæmdum sem ekki eru háðar byggingarleyfi	9.2.3, 10.4
Grunnstingull	Ísmyndun í vatni sem er undirkælt (hiti rétt undir frostmarki) vegna iðustreymis við misfellur, svo sem steina við botn eða inntaksristar	5.1
Heildarfallhæð	Hæðarmunur á milli vatnsborðs í inntakslón og í frárennslisskurði	3.2
Hverfill	Aflvél, sem knúin er af vökva (hér vatn)	6.1
Inntaksloki	Loki við inntakið á vatnslögninni til virkjunarinnar	5.1
Inntaksrist	Rist á inntaksopi vatnslagnar til virkjunarinnar, til að varna því að aðskotahlutir komist í lögnina	5.1
Jökulá	Vatnsfall sem kemur undan jökli og verður til við leysingu jökulíss	4.2

Kavítation	Slittæring eða holumyndun (á ensku "cavitation"), sem verður ef þrýstingur vatnsins verður svo lágur við yfirborð vatnshjólsins að vatnið sýður og myndar gufubólur. Þegar gufubólurnar falla saman við hærri þrýsting verður högg sem slítur yfirborðinu og holar það	5.2
Langæislína rennslis	Línurit sem sýnir hvaða líkur eru á að fá ákveðið rennsli eða meira í vatnsfalli	3.1
Launafl	Sá hluti rafaflsins sem skilar ekki nýtanlegri vinnu	6.5.2
Lindá	Vatnsfall sem á sér glögg upptök og einkennist af jöfnu rennsli og hitastigi árið um kring	4.2
Markafl	Rafafl sem samið er um að skilað sé að lágmarki á hverjum tíma	3.4
Matsskylda	Að framkvæmd sé háð mati á umhverfisáhrifum samkvæmt lögum nr. 106/2000	8.1, 9.2.2, 10.2
Nettó- fallhæð	Nýtanleg fallhæð að frádregnum viðnámstöpum í vatnsvegum	3.2
Nýtanleg fallhæð	Fallhæðin frá vatnsborði í inntakslóni, að bunustút fyrir spyrnuhverfil (Pelton), en að yfirborði í frárennslisskurði fyrir gagnspyrnuhverfil (Francis)	3.2
Nýtni	Hlutfall á milli þess afls sem fæst út úr ákveðinni vél og þess afls sem sett er inn í vélina	6.3
Óamfasa rafali	Rafali sem háður er segulmögnun frá dreifikerfinu til að geta framleitt rafmagn	6.5.4.
Ótryggð orka	1) Orka sem orkuframleiðandi getur ekki tryggt afhendingu á 2) Raforka, bundin ítarlegum söluskilmálum, sem Landsvirkjun selur almenningsveitum og þær endurselja með viðbótarskilmálum	3.4
Rafafl	Margfeldi rafstraums og rafspennu	6.5.2
Rafali	Tæki sem breytir snúningsorku í raforku	6.5.4
Raforka	Orka í formi rafmagns, margfeldi rafafls og tíma	
Rafspenna	Þrýstingur rafmagns	6.5.2
Rafspennir	Tæki til að breyta rafspennu	
Rafstraumur	Streymi rafeinda	6.5.2
Raunafl	Sá hluti rafaflsins sem skilar nýtanlegri vinnu	6.5.2
Rekstrarkostnaður	Kostnaður við umsjón, viðhald o.þ.h.	11.2
Rennsli	Streymi í á eða læk, oft mælt í rúmmetrum á sekúndu	3.1
Rennslisvirkjun	Virkjun sem nýtir rennslið í ánni án miðlunar	2.1.3
Samfasa rafali	Rafali með sjálfstæða segulmögnun, getur framleitt rafmagn fyrir notanda sem ekki er tengdur dreifikerfinu	6.5.4
Skortorka	Sú orka sem á vantar að markafl hafi verð afhent	3.4, Viðauki 2

Skortorkugjald	Gjald sem nemur framleiðslukostnaði rafmagns með dísilvélum (án stofnkostnaðar)	7.1
Slittæring/ Holumyndun	Sjá kavítation	
Starfsleyfi	Leyfi heilbrigðisnefndar t.d. vegna vinnubúða	10.6
Stofnkostnaður	Heildarkostnaður við byggingu virkjunar	11.1
Stöðvarhús	Hús fyrir hverfla, rafala og tilheyrandi búnað	5.2
Stöðvarnotkun	Raforkunotkun í sjálfri virkjuninni	7.2
Sumarorkugjald	Gjald sem fæst fyrir raforku yfir sumartímann (maí til september)	3.4
Sýndarafl	Vektorsamlagning raunafls og launafls	6.5.2
Tengistaður rafveitu	Þar sem raflögn frá virkjun tengist dreifikerfi rafveitu	7.2
Tíðni	Fjöldi sveiflna á tímaeiningu	6.5.2
Túrbína	Merkir sama og hverfill (ekki notað hér)	
Uppsett afl	Mesta rafafl sem virkjunin er hönnuð til að framleiða	3.3
Vatnasvið	Svæði sem vatn rennur af til vatnsfalls	4.2
Vatnsafl	Afl sem felst í tiltekinni fallhæð og rennsli vatns	3.3
Vatnsorka	Orka sem fæst með nýtingu vatnsafls yfir tímabil	3.4
Verndarsvæði	Svæði sem njóta verndar skv. lögum um náttúru-vernd, þjóðminjar o.fl. svo sem vegna friðlýsingar	8.2, 9.2.7, 10.2
Vetrarorkugjald	Gjald sem fæst fyrir raforku yfir vetrartímann (október til apríl)	3.4
Virk fallhæð	Sama og nettó- fallhæð	
Virkjun	Mannvirki, búnaður og annað sem þarf til að nýta auðlind, t.d. vatnsfall, til að framleiða orku	5, 6
Virkjunarleyfi	Leyfi iðnaðarráðherra til að reisa og reka 200-2000 kW raforkuver	9.2.1, 10.3
Yfirfall	Búnaður þar sem vatn fellur yfir, t.d. við stíflu til að halda vatnsborði innan ákveðinna marka	5.1
Þrífasa rafmagn	Í lágspenntu þrífasa rafkerfi er raforkan flutt eftir þremur eða fjórum aðskildum leiðurum eftir því sem við á, sbr. myndir 6.18 og 6.19 (400/230 V). Þar nær riðspennan í hverjum fasa hámarki á mismundandi tíma, sbr. mynd 6.22	6.5.3
Þrýstifall	Lækkun þrýstings, t.d. í lögn, vegna viðnáms við aðliggjandi fleti	5.3
Þrýstipípa	Vatnslögn að vatnshverfli	5.3

1 INNGANGUR

Á fyrri hluta síðustu aldar voru byggðar margar heimarafstöðvar víða um landið, með virkjun vatnsafls. Þær voru flestar minni en 30 kW og raforkan nýtt til eigin þarfa. Á þessum tíma var ekki byrjað að rafvæða landið, en uppfinningar á rafmagnssviði leiddu til hraðrar þróunar á rafbúnaði, svo sem til iðnaðar, búrekstrar og heimilis. Eina leiðin til að nýta slíkan rafbúnað var að framleiða rafmagnið sjálfur á staðnum. Á árunum um 1950 höfðu verið byggðar um 530 heimarafstöðvar, en eftir það fór þeim fækkandi samfara rafvæðingu sveitanna. Árið 1982 hafði þeim fækkað verulega og voru orðnar 186, þar af 88 á bæjum sem ekki höfðu rafmagn frá dreifiveitum.[1] Árið 1992 voru 175 smávirkjanir (minni en 300 kW) í notkun, skv. upplýsingum frá Löggildingarstofu.

Nú hefur áhugi aukist aftur á byggingu heimarafstöðva og smávirkjana. Það á við bæði hér á landi og erlendis. Ástæður fyrir því eru eflaust margar. Slíkar virkjanir eru almennt taldar hagstæðar með tilliti til umhverfismála og þær styrkja byggðirnar. Þeir sem hyggjast byggja smávirkjanir sjá sér hag í að framleiða rafmagn til eigin nota, sem er ódýrara en rafveiturnar bjóða, en jafnframt til sölu inn á dreifikerfi rafmagnsveitanna. Slík sala er frjáls víða erlendis og með væntanlegum raforkulögum verður slík sala frjáls hér. Í einstaka tilvikum styrkja nýjar smávirkjanir dreifikerfi rafveitnanna. Ef bætt er inn smávirkjunum á svæðum þar sem fyrir er dreifikerfi sem fullnægir orkuþörfinni þá er ljóst að sú fjárfesting nýtist ekki eins vel auk þess sem orkusala rafveitnanna minnkar.

Víða eru möguleikar á að virkja ár og læki. Virkjunarkostirnir eru misgóðir og því er nauðsynlegt að kanna hagkvæmni þeirra áður en miklu er kostað til. Það sama gildir um byggingu smávirkjana og önnur verkefni að góður undirbúningur skilar sér þegar upp er staðið. Betra er að komast að því strax á byrjunarstigi ef virkjunarkostur er ekki hagkvæmur en þegar byrjað er að selja raforku og borga af lánum. Þessi varnaðarorð eru ekki sögð til að hræða , heldur til að vekja til umhugsunar um mikilvægi góðs undirbúnings og áætlanagerðar.

Ráðgjafanefnd um byggingu smávirkjana var skipuð 14. desember árið 2000 af iðnaðar- og viðskiptaráðherra, Valgerði Sverrisdóttur. Nefndin er þannig skipuð:

Guðjón Axel Guðjónsson, iðnaðarráðuneytið, formaður
Ásgeir Þór Ólafsson, Rafmagnsveitum ríkisins
Guðmundur Guðmundsson, Rafmagnsveitum ríkisins
Guðmundur Stefánsson, Lánasjóði landbúnaðarins
Hákon Aðalsteinsson, Orkustofnun
Ólafur Eggertsson, Landssamtökum raforkubænda
Jón Guðbjörn Guðbjörnsson, Framleiðnisjóði landbúnaðarins.

Í mars 2002 tók Gunnar Örn Gunnarsson við störfum Guðjóns Axels í nefndinni. Með formlegri útgáfu þessarar handbókar hefur nefndin lokið sínum störfum.

Meginverkefni nefndarinnar var að finna undirbúningi smávirkjana ákveðinn farveg, sem áhugasamir aðilar um virkjun gætu nýtt sér. Að tillögu nefndarinnar ákvað iðnaðarráðuneytið að ráðast í gerð leiðbeiningarits, þar sem teknar væru saman í handbók mikilvægar upplýsingar um undirbúning og byggingu lítilla vatnsaflsvirkjana. Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf. (VGK) var fengin til að gera handbókina í samvinnu við nefndarmenn, sem tóku virkan þátt í mótun og yfirferð hennar.

[1] Ágúst Halblaub 1982, bls. 10

Fjallað er um undirbúningsrannsóknir, mannvirki, vél- og rafbúnað, samskipti við opinbera aðila og áætlanagerð. Jafnframt eru settar fram leiðbeiningar um hvernig haga beri undirbúningi. Þegar að hönnun kemur ættu menn að leita sér ráðgjafar eða afla sér ítarlegri hönnunargagna.

Ef breytingar eða viðbætur verða gerðar á þessari skýrslu eftir útgáfu hennar verða þær kynntar á heimasíðu um smávirkjanir á vefsíðu Orkustofnunar, www.os.is.

2 ALMENNT YFIRLIT YFIR VIRKJANIR

2.1 Flokkun lítilla virkjana

Flokka má litlar virkjanir eftir þremur meginþáttum sem einkenna hverja virkjun, en þeir eru:

1. Uppsett afl
2. Virkjuð fallhæð
3. Hvort virkjunin er rennslisvirkjun eða með miðlunarlóni

Hér að neðan er gerð grein fyrir hverjum þessara þátta:

2.1.1 Uppsett afl

Venja er að flokka litlar virkjanir í þrjá flokka eftir uppsettu afli. Flokkunin er nokkuð mismunandi eftir löndum, en hér er miðað við eftirfarandi:

1. Örvirkjun; með uppsett afl undir 100 kW. Undir þennan flokk falla svokallaðar heimilisrafstöðvar til eigin nota, sem eru að jafnaði undir 30 kW
2. Smávirkjun; með uppsett afl á bilinu 100 – 300 kW
3. Lítil virkjun; með uppsett afl allt að 1.000 kW

2.1.2 Virkjuð fallhæð

Virkjanir eru flokkaðar eftir því hvað fallhæð vatnsins að virkjuninni er mikil. Flokkunin er nokkuð mismunandi eftir löndum og höfundum, en hér er miðað við eftirfarandi:

1. Lág fallhæð miðast við minna en 50 m
2. Meðalfallhæð miðast við 50-250 m
3. Há fallhæð miðast við meira en 250 m

Almennt má segja að virkjun með hærri fallhæð sé líklegri til að verða hagkvæmari en virkjun með lága fallhæð. Þetta er vegna þess að því meiri sem fallhæðin er því minna rennsli þarf til að framleiða hverja einingu af raforku. Af því leiðir að vatnsvegir og búnaður sem er í snertingu við vatnið verða minni um sig og ódýrari (t.d. inntakslón, þrýstipípa, hverfill). Vatnshverflarnir eru mismunandi gerðar eftir fallhæð og streymi, en nánar er fjallað um það í kafla 6.

2.1.3 Rennslisvirkjun eða virkjun með miðlunarlóni

Orðið rennslisvirkjun vísar til þess að virkjunin nýtir árvatn, eða hluta þess árvatns, sem rennur hjá eftir náttúrulegum aðstæðum á hverjum tíma. Við rennslisvirkjun er ekki miðlunarlón til að safna vatni í þegar rennslið er meira en virkjað rennsli. Yfirleitt er einungis um að ræða lítið inntakslón með yfirfalli fyrir umframvatn. Ef uppsett afl rennslisvirkjunar miðast við lágmarksrennsli árinnar getur orkuframleiðslan verið stöðug, en ef uppsett afl er haft meira en lágmarksstreymið þá verða afköst virkjunarinnar háð rennslinu. Í því tilviki er orkuframleiðsla yfir ákveðnu lágmarki háð rennslinu og því ótrygg. Slík orka er kölluð ótryggð orka og fyrir hana fæst lágt verð og í sumum tilvikum er hún verðlaus. Ef rennslisvirkjun á að þjóna afskekktum notanda, sem ekki er tengdur dreifikerfinu, er mikilvægt að lágmarksrennslið nægi í öllum tilvikum til að framleiða þá orku sem þarf.

Virkjun með miðlunarlóni byggir á því að safna vatni í lón og nýta vatnið eftir þörfum yfir árið. Slík virkjun hentar betur í þeim tilvikum að framleiða þarf orku eftir breytilegum þörfum

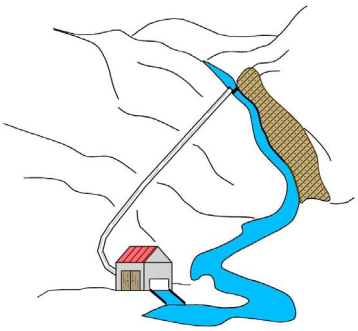
notandans. Vatnið sem til fellur á svæðinu nýtist betur og hægt er að hafa uppsett afl virkjunarinnar nokkuð nærri minnsta meðalrennsli árinnar. Hins vegar getur verið kostnaðarsamt að byggja stíflu og mynda uppistöðulón. Það fer eftir aðstæðum. Miðlunarlón hefur í för með sér röskun á umhverfinu.

2.2 Helstu hlutar virkjunar

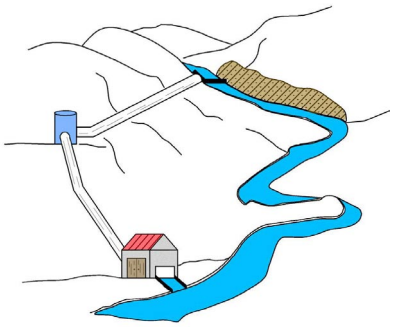
Litlar virkjanir eru venjulega byggðar upp af sömu meginhlutum og stórar virkjanir, en þær eru oftast rennslisvirkjanir, án miðlunarlóns. Dæmigerð lítil virkjun er uppbyggð af veitumannvirkjum, vatnsvegum, stöðvarhúsi með vél- og rafbúnaði og vegum. Gerð virkjana er þó mismunandi eftir aðstæðum á hverjum stað. Hér að neðan er yfirlit yfir helstu hluta smávirkjana:

- **Stífla, inntakslón og hjáveita:** Mannvirki sem veitir meginhluta árinnar út úr sínum eðlilega farvegi í átt að inntaki til virkjunarinnar. Þetta er yfirleitt lág stífla í ánni, með yfirfalli fyrir umframvatn. Yfirleitt er haft nokkurt uppistöðulón og dýpi við hjáveituna, til að taka upp minniháttar sveiflur í vatnsnotkun og til að hægja á streymi og koma í veg fyrir ísvandamál. Við hjáveituna er gjarna höfð botnrás til að hægt sé að lækka vatnsborð í lóninu niður fyrir aðrennsli að virkjuninni og hreinsa inntakslón.
- **Inntaksmannvirki:** Inntakið er annað hvort sérstakt mannvirki eða hluti af hjáveitu. Við inntakið er gjarnan inntaksrist til að koma í veg fyrir að hlutir sem berast með ánni komist í vatnshverfilinn og skaði hann. Einnig er í inntakinu lokubúnaður til að loka fyrir vatn inn að vatnshverflinum.
- **Vatnsvegir, þrýstipípa:** Frá inntakinu er vatnið leitt að stöðvarhúsinu, um skurði og/eða pípulagnir. Stundum hagar þannig til að fjarlægð frá inntakinu að stöðvarhúsinu er nokkuð mikil. Í slíkum tilvikum er stundum hægt að hafa hluta lagnarinnar með litlum halla en taka svo meginhæðarmuninn á tiltölulega stuttum hluta leiðarinnar, næst stöðvarhúsinu. Er þá hægt að leiða vatnið meginhluta leiðarinnar í skurði, stokk eða pípu sem þolir einungis lágan þrýsting. Síðasti hlutinn, þar sem þrýstingur í lögninni eykst vegna hæðarmunarins, er þá hin eiginlega þrýstipípa. Á mótum þessara tveggja lagnahluta er gjarna höfð jöfnunarþró til að draga úr þrýstisveiflum.
- **Stöðvarhús:** Í stöðvarhúsinu er helsti vél- og rafbúnaður virkjunarinnar, svo sem hverfill, gangráður, rafali, raf- og stjórnbúnaður.
- **Frárennsli:** Frárennsli frá virkjuninni í ána er gjarnan leitt í skurði eða víðu frárennslisröri.
- **Vegir:** Vegir við smávirkjanir eru yfirleitt einungis að stöðvarhúsinu. Æskilegt er að akfært sé að inntaki, en það er þó háð aðstæðum og stærð virkjunar.

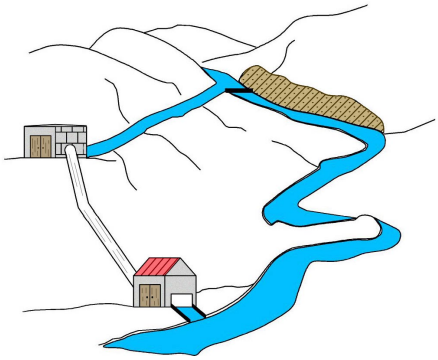
Þessum meginhlutum virkjunar er raðað saman eftir aðstæðum á hverjum stað. Nokkur dæmi eru sýnd á myndum 2.1 til 2.4.



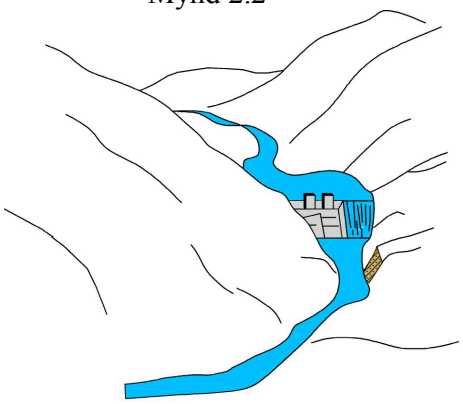
Mynd 2.1



Mynd 2.2



Mynd 2.3



Mynd 2.4

Mynd 2.1 Virkjun með hjáveitu og inntaki í sama mannvirki. Þrýstipípan er lögð frá inntakinu að stöðvarhúsinu án jöfnunarþróar

Mynd 2.2 Virkjun með hjáveitu og inntaki í sama mannvirki. Frá inntakinu er lögð lágþrýstilögn að jöfnunarþró og þrýstipípa þaðan og að stöðvarhúsinu

Mynd 2.3 Virkjun með hjáveitu þar sem vatninu er veitt í skurði um nokkurn veg að inntaki. Þrýstipípa liggur frá inntakinu að stöðvarhúsinu

Mynd 2.4 Virkjun með hjáveitu, inntaki og stöðvarhúsi í sama mannvirki. Í því tilviki er þrýstipípan einungis stuttur leggur frá inntakinu að túrbínunni

2.3 Staðsetning

Staðsetning virkjunar getur haft veruleg áhrif á hagkvæmni. Eftirfarandi þættir ráða mestu um hagkvæmni:

- Stærð og lögun vatnasviðs
- Vatnsmagn og breytileiki í rennsli
- Lega árinnar og virkjanleg fallhæð
- Jarðlög á svæðinu, aðgengi að byggingarefnum
- Aðkoma á svæðið, vegagerð
- Fjarlægð til orkunotanda/ kaupanda

Einnig er bent á, að ár sem tæknilega gætu hentað vel til virkjunar koma í sumum tilvikum varla eða ekki til greina vegna umhverfislegra þátta.

VGK 2003

3 NÝTANLEGT VATNSAFL OG VATNSORKA

Áður en hafist er handa við virkjun fallvatns þarf að meta vatnsaflið og orkuna sem hægt er að nýta. Til þess þarf upplýsingar um rennslið og fallhæðina. Fallhæðina er hægt að mæla í eitt skipti fyrir öll, en rennslið er breytilegt. Í þessum kafla er gerð grein fyrir mælingum á rennsli og fallhæð, ásamt útreikningi á afli og orku.

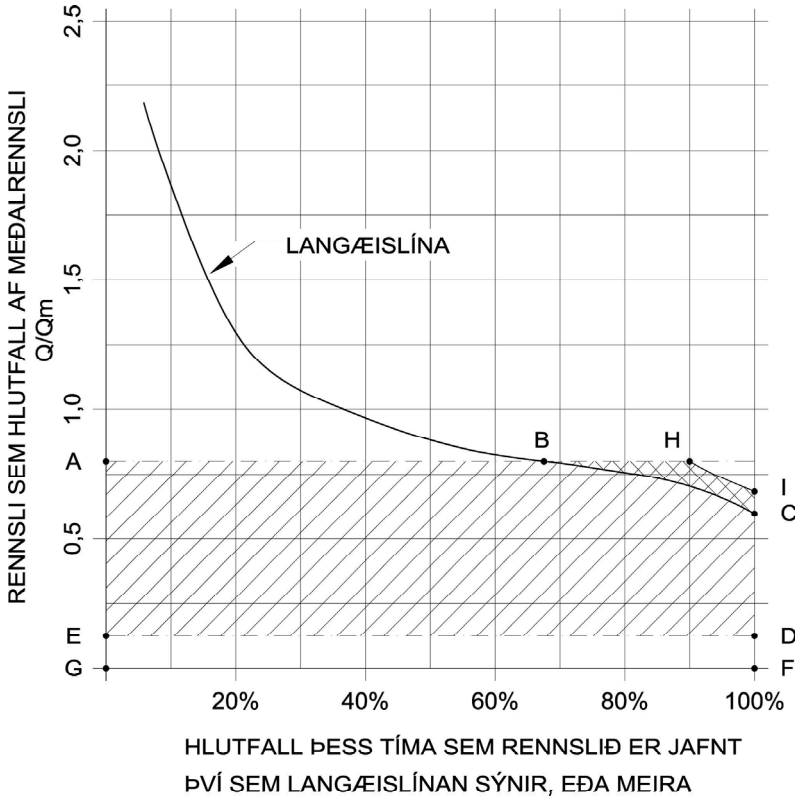
3.1 Rennsli

Rennslið er einn mikilvægasti þátturinn í mati á vatnsafli og raforkuframleiðslu. Orkuframleiðslan ræðst af rennslinu og fallhæðinni. Rennslið er gjarnan breytilegt og því er það rennslið sem ákvarðar orkuframleiðsluna frá einum tíma til annars. Það skiptir miklu máli að velja hverfil af hæfilegri stærð. Hann ætti ekki að vera það stór að hann sé sjaldan á fullum afköstum, og heldur ekki svo lítill að hann nýti ekki nema hluta þess rennslis sem í boði er.

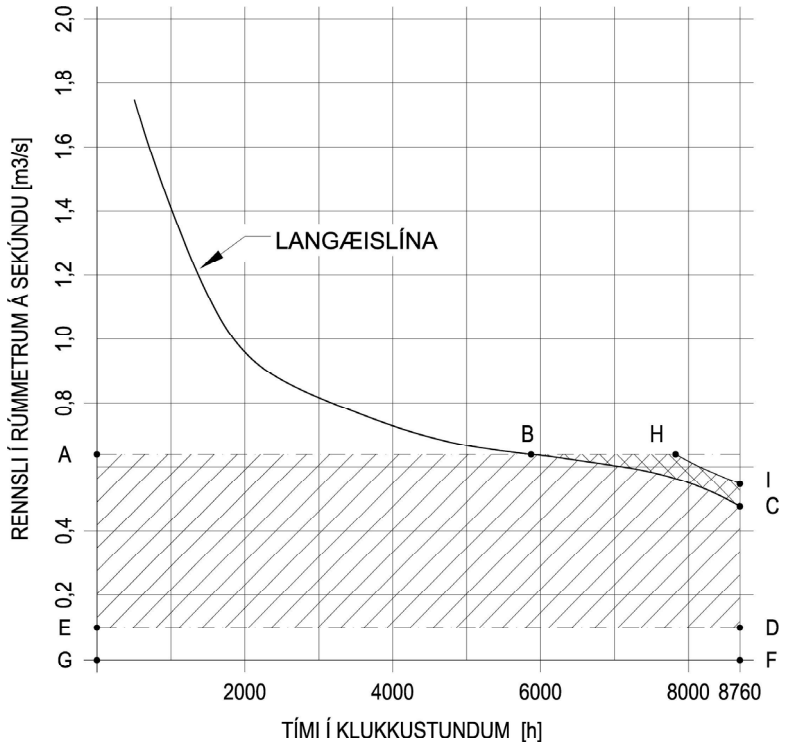
Vatnsrennsli sem er til ráðstöfunar er gjarnan sett fram með svokallaðri langæislínu, sjá myndir 3.1 og 3.2. Langæislínan segir til um hvaða líkur eru á að fá ákveðið rennsli eða meira. Á lóðrétta ásnum er sýnt rennslið sem hlutfall af meðalrennsli og á lárétta ásnum eru líkurnar í prósentum. Einnig má túlka lárétta ásinn sem hlutfall þess tíma ársins sem vænta má ákveðins rennslis eða meira. Til að lesa út úr línuritinu er farið á lárétta ásinn, t.d. við 40% og lesið af að hlutfallslegt rennsli er rétt undir meðalrennslinu, um 0,95 sinnum meðalrennslið. Það þýðir að 40% líkur eru á því að rennslið verði jafnt þessu rennsli eða meira. Eða með öðrum orðum, að 40% af árinu má reikna með því að rennslið sé jafnt þessu rennsli eða meira. Langæislínan er stundum sett fram með rennslið á lóðrétta ásnum og tíma ársins á lárétta ásnum eins og sýnt er á mynd 3.2. Langæislínurnar á mynd 3.1.og 3.2 eru tilbúin dæmi, sem lýsa frekar einkennum lindár en dragár.

Til að meta hvaða rennsli skal nota sem hönnunarrennsli virkjunar er nauðsynlegt að gera langæislínu. Rennslið er ráðandi um val á stærð og gerð hverfils og vatnsvega, ásamt tengingarmöguleikum við dreifikerfið. Langæislínan er jafnframt notuð til að meta hversu mikla orku hægt er að framleiða yfir árið. Á langæislínunni á mynd 3.1 hefur hönnunarrennslið verið ákveðið og sett í punktinn A. Svæðið undir langæislínunni, sem afmarkast af punktunum A, B, C, F og G svarar til orkunnar sem hægt er að framleiða á einu ári ef allt vatnið er notað. Með tilliti til lífríkis er þó oftast haft eitthvert lágmarksstreymi í árfarveginum svo að hann þurrkist ekki upp.

Svæðið undir langæislínunni en yfir línunni AB svarar til þess vatns sem tapast yfir yfirfall þegar mest er í ánni. Svæðið undir línunni ED svarar til þess lágmarksstreymis sem tekið er framhjá virkjuninni í náttúrulegan farveg árinnar. Svæðið sem afmarkast af punktunum B, H, I, og C svarar til vatns sem safnað er í lón þegar rennslið er mikið og nýtt síðar þegar rennslið í ánni er minna. Línan HI er undir hönnunarrennslinu og skv. langæislínunni má gera ráð fyrir að slíkt ástand geti varað um 10% af árinu, eða í rúman mánuð. Þetta er sá tími sem virkjunin getur ekki tryggt fullt afl. Líklegt er að þetta verði á vetrarmánuðum þegar rennsli er minnst, en þá er mest orkuþörf og hæst orkuverð. Ef samið er við rafveitu um ákveðna afltryggingu, sem ekki næst að uppfylla, þarf að greiða refsigjald þegar ekki næst að skila umsömdu afli, sjá kafla 3.4. Því er mikilvægt að ákvarða hönnunarrennslið þannig að sá tími sem ekki er hægt að skila fullu afli sé sem minnstur.



Mynd 3.1 Langæislína sýnir hlutfallslegt rennsli sem fall af hlutfallslegum tíma



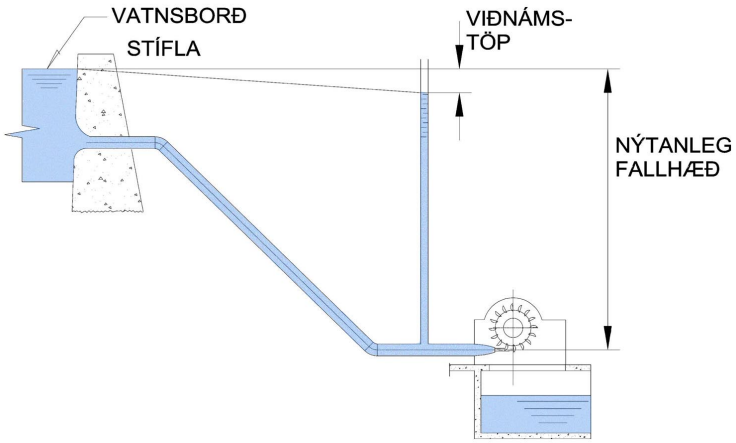
Mynd 3.2 Langæislína sýnir rennsli sem fall af tíma

Einn þýðingarmesti þáttur í undirbúningi vatnsaflsvirkjunar eru vatnamælingar og gerð langæislínu. Út frá langæislínunni er hönnunarrennslið ákvarðað. Jafnframt er hægt að sjá hversu miklar breytingar eru á rennslinu yfir árið og nýta þær upplýsingar til að velja hverfil sem hentar. Hverflar eru misjafnlega hentugir til að keyra á hlutaálagi, en allir hverflar hafa þó eitthvert tæknilegt lágmarksrennsli.

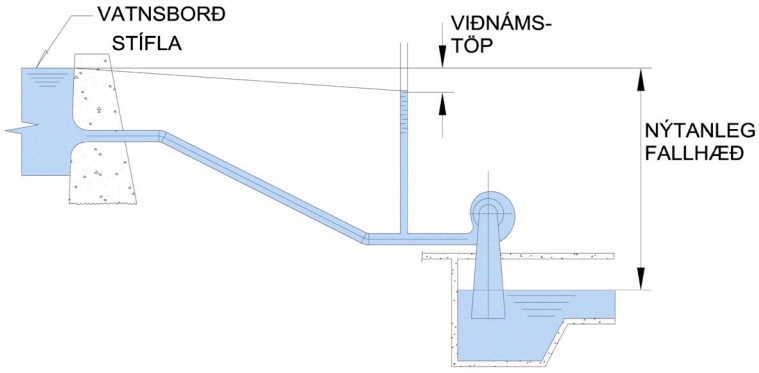
Til að fá sem gleggsta mynd af rennsliseiginleikum árinnar og til að gera langæislínu þarf að mæla rennslið reglulega yfir nokkuð langt tímabil. Nánar er fjallað um vatnamælingar í kafla 4.

3.2 Fallhæð

Brúttó- eða heildarfallhæð fyrir vatnsorkuver er hæðarmunurinn á milli vatnsborðs í inntakslóni og í frárennslisskurði. Fallhæðin sem nýtist er mismunandi eftir gerð hverfilsins. Ef um er að ræða spyrnuhverfil (t.d. Pelton), nýtist fallhæðin að bunustútnum inn á hverfilinn, sjá mynd 3.3, en ef um er að ræða gagnspyrnuhverfil (t.d. Francis), nýtist fallhæðin að yfirborði í frárennslisskurðinum, sjá mynd 3.4. Þetta kallast nýtanleg fallhæð. Nettó- eða virk fallhæð er nýtanleg fallhæð að frádregnu þrýstifalli í vatnsvegum frá inntaki að hverfli.



Mynd 3.3 Nýtanleg fallhæð fyrir Pelton hverfil



Mynd 3.4 Nýtanleg fallhæð fyrir Francis hverfil

Til að meta heildarfallhæðina þarf að liggja fyrir staðsetning inntaksins og staðsetning stöðvarhússins. Ýmsar aðferðir er hægt að nota til að áætla heildarhæðina. Hér á eftir eru nefndar nokkrar:

- **Kort:** Ef um er að ræða verulega fallhæð, er hægt er að nota kort í mælikvarða 1:50 000 til að meta hæðina gróft. Hæðarmunur á milli hæðarlína er 20 m.
- **Þrýstimælir:** Hægt er að nota þrýstimæli, ef vitað er nokkurn veginn hver fallhæðin er. Þetta er gert með því að leiða slöngu frá þeim stað þar sem inntakið er áætlað og að þeim stað þar sem áætlað er að frárennslið frá stöðvarhúsinu verði. Nota má granna slöngu, sem þolir þann þrýsting sem búast má við. Efri stútur slöngunnar er festur í þeirri hæð sem áætlað er að vatnsborðið í inntakslóninu verði en þrýstimælirinn er settur á hinn enda slöngunnar og staðsettur í þeirri hæð sem áætlað er að yfirborð í frárennslisskurðinum verði. Slangan er svo fyllt með vatni og nauðsynlegt er að tæma allt loft úr slöngunni. Þrýstisvið mælisins er valið út frá áætlaðri fallhæð til að nákvæmnin verði sem best. Ef fallhæðin er áætluð á bilinu 50 til 70 metrar er heppilegt að velja þrýstimæli með mælisviði 10 bar. Mælieining þrýstimæla er venjulega bar, en 1 bar jafngildir um 10,18 m vatnssúlu eða

  $$1\text{bar} = 10{,}18 \text{ m vatnssúlu}$$

  þannig að ef þrýstingurinn mælist t.d. 5,2 bar þá er fallhæðin reiknuð sem

  $$H = 5{,}2 \times 10{,}18 = 52{,}9 \text{ m} \quad \text{eða um} \quad H = 53 \text{ m}$$

  Ef lesið er af þrýstimælinum með einum aukastaf er nákvæmnin í útreiknaðri hæð um 1 m.
- **GPS tæki:** Hægt er að nota GPS-handtæki til að fá sæmilegt mat á fallhæðina. Skekkja í þessum tækjum er oftast innan við 1 m þegar um er að ræða mismun á milli tveggja punkta. Með GPS-tækjum sem ætluð eru til landmælinga er hægt að mæla hæðina nákvæmlega, en til þess þarf sérfræðinga.
- **Loftþrýstingsmælar:** Hæðarmælar sem byggja á breytingu í loftþrýstingi, eins og göngufólk notar til að mæla hæðarmun. Þessir mælar eru til af mismunandi gæðum en hægt er að fá mæla með mismikilli nákvæmni.

3.3 Vatnsafl

Vatnsafl í fallvatni ræðst af vatnsrennslinu og fallhæðinni. Nýtanlegt vatnsafl (P) er mælt í kílovöttum (kW) eða megavöttum (MW). Aflið er margfeldi af fallhæðinni (H) og rennslinu (Q) í gegnum hverfilinn ásamt stuðli sem tekur tillit til nýtni kerfisins og þyngdarhröðunar. Vatnsaflið er reiknað með eftirfarandi formúlu:

$$P = \eta \, g \, \rho \, Q \, H \qquad (3.1)$$

Þar sem :

P er vatnsaflið mælt í kílóvöttum (kW)

Q rennslið í gegnum hverfilinn, mælt í rúmmetrum á sekúndu (m^3/s)

H er heildarfallhæðin, mæld í metrum (m)

g er þyngdarhröðun við jörð, g = 9,81 (m/s^2)

ρ er eðlisþyngd vatns (kg/lítra)

η er nýtni

Formúluna (3.1) má einfalda og skrifa á eftirfarandi hátt:

$$P = k \, Q \, H \qquad (3.2)$$

Þar sem k er stuðull, sem er margfeldi af nýtninni, þyngdarhröðuninni og eðlisþyngd vatnsins; $k = \eta\, g\, \rho$. Fyrir smávirkjanir má gera ráð fyrir að k geti verið um 7, sem jafngildir því að heildarnýtni kerfisins sé um 70%. Orkan sem tapast er þá um 30% og samanstendur af eftirtöldum þáttum:

- Töp vegna þrýstifalls í vatnsvegum
- Töp vegna nýtni hverfils
- Töp vegna nýtni gírs á milli hverfils og rafala ef um slíkt er að ræða
- Töp vegna nýtni í rafala og spennum

Dæmi um útreikning á vatnsafli:

Rennsli Q er áætlað 0,1375 m^3/s

Fallhæðin H er 25 m

$$P = k\, Q\, H = 7 \times 0{,}1375 \times 25 = 24{,}1 \text{ kW}$$

3.4 Vatnsorka

Vatnsaflið er hægt að nýta til að framleiða raforku (E). Raforkan er reiknuð sem margfeldi aflsins (P) og tímans (t) sem aflið er notað, skv. formúlunni

$$E = P\, t \qquad (3.3)$$

Þar sem:

E er raforka, mæld í kílóvattstundum (kWh)

P er aflið, mælt í kílóvöttum (kW)

t er tíminn sem aflið P er notað, mælt í klukkustundum (h)

Dæmi um útreikning á vatnsorku:

Vatnsaflið P er 24,1 kW
Nýtingartíminn er 8500 stundir á ári, þannig að virkjunin er ekki í rekstri í 260 stundir á árinu (8760 –8500):

$$E = P\, t = 24{,}1 \times 8500 = 204.850 \text{ kWh á ári}$$

Þetta er orkan sem hægt er að framleiða ef virkjunin er keyrð allt árið á aflinu 24,1 kW. Nú er það svo að slíkt er ekki alltaf raunin. Í sumum tilvikum er virkjunin keyrð á mismunandi afköstum yfir árið og hluta ársins er hún stopp, vegna viðhalds eða viðgerða. Eftirfarandi er dæmi um orkuframleiðslu þegar aflið er breytilegt yfir árið:

- Virkjun er keyrð á fullum afköstum, $P_1 = 24{,}1$ kW, í $t_1 = 3000$ h á ári
- Virkjunin er keyrð á 75% afköstum, $P_2 = 18{,}1$ kW, í $t_2 = 3500$ h á ári
- Virkjunin er keyrð á 40% afköstum, $P_3 = 9{,}6$ kW, í $t_3 = 2000$ h á ári
- Virkjunin er ekki í rekstri í alls 260 h á árinu

Orkuframleiðslan verður þá eftirfarandi:

$$E = P_1\, t_1 + P_2\, t_2 + P_3\, t_3$$

$$= 24{,}1 \times 3000 + 18{,}1 \times 3500 + 9{,}6 \times 2000 = 154.850 \text{ kWh á ári}$$

Ef valið er að hafa hámarksafköst virkjunarinnar minni en 24,1 kW, t.d 18 kW fyrir sama rennslismynstur og miðað er við í dæminu hér að ofan, þá verður orkuframleiðsla yfir árið eftirfarandi:

$$E = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3$$

$$= 18{,}0 \times 3000 + 18{,}0 \times 3500 + 9{,}6 \times 2000 = 136.200 \text{ kWh á ári}$$

Þessi tilbúnu dæmi sýna að:

- Ef hægt er að haga miðlun þannig að hægt sé að reka virkjunina á fullum afköstum allt árið þá er orkuframleiðsla ársins um 204.850 kWh
- Ef ekki er um miðlun að ræða þá verður orkuframleiðslan minni, eða um 154.850 kWh á ári
- Ef ekki er um miðlun að ræða og uppsett afl virkjunarinnar er valið 18 kW í stað 24,1 kW þá verður orkuframleiðslan um 136.200 kWh á ári

Af þessu sést að það er mikilvægt að velja afköst virkjunarinnar af kostgæfni miðað við það rennsli sem vænta má samkvæmt vatnamælingum. Dæmið sýnir að 24.1 kW virkjun framleiðir um 154.850 kWh á ári en ef virkjunin er höfð með 25% minna uppsett afl, eða 18 kW, er orkuframleiðslan yfir árið einungis 12% minni, eða 136.200 kW. Það er því ekki víst að virkjun með uppsettu afli 24,1 kW skili betri afkomu en 18 kW virkjun.

Þó dæmin séu tilbúin, sýna þau mikilvægi þess að nota langæislínuna (sjá myndir 3.1 og 3.2) til að meta hagkvæmni mismunandi kosta.

Vakin er athygli á því að þegar að því kemur að reikna orkuframleiðsluna þarf að taka tillit til nýtni virkjunarinnar. Til dæmis minnka töp vegna þrýstifalls í vatnsvegum og í drifbúnaði þegar aflið minnkar, en töp í hverfli og rafala aukast.

Mikilvægt er að gera sér grein fyrir mismunandi orkuverði eftir árstíma og eftir afhendingaröryggi. Þegar gerður er samningur við viðkomandi rafveitu er samið um þetta. Hér eru nefndir nokkrir mikilvægir þættir:

- Mismunandi verð er á raforku sem framleidd er að vetri til annars vegar og sumri til hins vegar. Þetta er svokallað vetrarorkugjald og sumarorkugjald. Raforka sem framleidd er að vetri til er dýrari, þá er eftirspurnin meiri og rennsli minna. Því er mikilvægt að nýta frekar sumarið til viðhaldsstöðvana.
- Markafl er það afl sem samið er um að skilað sé að lágmarki yfir ákveðið tímabil. Fyrir raforku innan markafls er greitt vetrarorkugjald eða sumarorkugjald eftir atvikum.
- Ef ekki næst að skila umsömdu markafli þarf virkjunaraðili að greiða refsigjald, svokallað skortorkugjald.
- Raforka sem er umfram fullnýtt markafl flokkast alla jafna sem ótryggð orka, sem er á mun lægra verði.

Nánar er fjallað um þetta í viðauka 2, sem er dæmigerður samningur virkjunaraðila við Rafmagnsveitur ríkisins.

4 VATNAMÆLINGAR OG JARÐFRÆÐI

4.1 Almennt

Samhliða áætlun um virkjun er mikilvægt að gera nauðsynlegar mælingar á viðkomandi vatnsfalli til að meta virkjanlega orku þess. Einnig þarf að kanna jarðlög á svæðinu til að finna mannvirkjum heppilegan stað. Í þessum kafla er fjallað lauslega um helstu einkenni íslenskra fallvatna og vísað til leiðbeininga Vatnamælinga Orkustofnunar um mælingar á rennsli. Jafnframt er gerð nokkur grein fyrir jarðfræðikönnun, jarðtæknilegum atriðum og byggingarefnum. Yfirleitt þarf að leita ráðgjafar sérfræðinga varðandi þessar athuganir.

4.2 Vatnamælingar

Vatnsföll á Íslandi eru að jafnaði flokkuð í þrjár gerðir eftir eðli og uppruna. Í fyrsta lagi ber að nefna lindár sem eiga sér glögg upptök og einkennast af jöfnu rennsli og hitastigi árið um kring. Annar flokkur er dragár sem eiga sér oft óglögg upptök og myndast úr mörgum lækjum og sytrum. Einkenni dragáa eru að rennslið, sem er háð veðurfari, eykst mjög í rigningu og hitastig vatnsins sveiflast með lofthita. Síðasti flokkurinn er jökulár sem koma undan jökli og verða til við leysingu jökulíss. Vatnsmagn jökuláa er mjög breytilegt eftir árstíma.[2]

Svæði sem vatn rennur af til vatnsfalls nefnist vatnasvið. Mörk milli vatnasviða nefnast vatnaskil. Stærð vatnasviðs ræður miklu um rennsli í vatnsfalli.[3] Gerð jarðlaga, veðurfar, landslag og gróðurfar skipta einnig máli. Sem dæmi má nefna að þar sem jarðlög eru þétt er afrennsli að mestu á yfirborði eins og á Austfjörðum. Á Reykjanesskaga eru jarðlög sprungin og grópin og hripar úrkoma þar niður í jarðlögin og rennur að mestu neðanjarðar til sjávar. Ef borin eru saman tvö vatnsföll á Suður- og Norðurlandi með álíka stór vatnasvið þá er líklegt að rennsli þess sunnlenska mælist meira. Ástæðan er sú að meðalúrkoma er meiri á Suðurlandi. Á litlu og bröttu vatnasviði má búast við miklum sveiflum í rennsli vatnsfalls með dragáreinkenni.

Lindár og dragár eru þau vatnsföll sem henta helst til smávirkjana. Hönnunarafköst virkjunar taka gjarnan mið af lágmarksrennsli í vatnsfallinu, ef ekki er um miðlunarlón að ræða. Dragár henta því síður fyrir smávirkjanir en lindár, nema farið sé í talsverðar miðlunarframkvæmdir til að draga úr áhrifum mikilla rennslissveifla. Jökulár eru aftur á móti oft mikil vatnsföll og því ekki taldar henta smávirkjunum. Þó er hugsanlegt að veita megi litlum hluta af rennsli jökulár til lítillar virkjunar.

Eins og greint er frá í kafla 3 er hægt að nýta vatnsafl í fallvatni til að framleiða raforku. Vatnsaflið ræðst af vatnsrennslinu og fallhæðinni. Áður en tekin er ákvörðun um virkjun þarf því að afla upplýsinga um þessa þætti til þess að meta vatnsaflið og orkuna sem hægt er að nýta. Í 3. kafla er gerð nánari grein fyrir sambandi vatnsafls, rennslis og fallhæðar, ásamt aðferðum við mælingar og útreikninga á afli og orku.

Í leiðbeiningum Vatnamælinga Orkustofnunar um mælingar á vatnsrennsli í smáám og lækjum kemur fram að gera þarf samfelldar rennslisathuganir um nokkurt skeið, a.m.k. í tvö ár til að fá gott mat á virkjanlegt rennsli. Hægt er að fá aðstoð Vatnamælinga við rennslismælingar. Vatnamælingar bjóða einnig þjónustu við að setja upp skynjara og skráningartæki til að

[2] Þorleifur Einarsson 1991, 141-144 og Sigurjón Rist 1990, bls. 61 til 66
[3] Jóna Finndís Jónsdóttir og Kristinn Einarsson 2002

fylgjast með og skrá vatnshæð.[4] Nánari upplýsingar um vatnamælingar má nálgast á heimasíðu Orkustofnunar www.os.is.

4.3 Jarðfræði

Berggerð, laus jarðlög og jarðvegur á svæðinu geta ráðið því hvar best er að velja virkjunar-mannvirkjum stað. Framboð á heppilegu byggingarefni í stíflu, vegi og önnur mannvirki ræðst einnig af sömu þáttum. Gott er að gera sér grein fyrir helstu einkennum jarðfræði svæðisins á undirbúningsstigi, með yfirborðskönnun. Umfang jarðfræðikönnunar fer eftir aðstæðum og stærð mannvirkja.

Undirstaða mannvirkja verður að vera traust og þarf þá að kanna jarðlagagerð, þykkt lausra jarðlaga og þar með dýpi niður á fast berg. Ef mannvirki eru reist á traustum undirstöðum þá eru minni líkur á að þau skemmist t.d. vegna mikilla rennslissveiflna. Jarðrask og efnisflutn-ingar geta haft áhrif á jarðmyndanir og stöðugleika jarðvegs. Þegar farvegi og rennslismynstri vatnsfalla er breytt og uppistöðulón mynduð hefur það áhrif á rofmynstur og þar með laus jarðlög og jarðveg á svæðinu. Ójafnvægi skapast og þarf þá að gæta þess að ekki verði hætta á auknu rofi við farvegi eða hruni úr hlíðum. Einnig getur verið hætta á jarðskriði svo sem við hjáveitu, lón, stíflur eða frárennslisskurði virkjunar.

Kanna þarf hvort nýtanleg jarðefni eru í nágrenni fyrirhugaðrar virkjunar. Meta þarf gæði jarðefna og hvort þau henta til vegagerðar, í stíflu og grunn eða sem steypuefni.

[4] Jóna Finndís Jónsdóttir og Kristinn Einarsson 2002

5 MANNVIRKI

Í kafla 2 er gerð grein fyrir helstu mannvirkjum í lítilli vatnsaflsvirkjun. Í þessum kafla er fjallað ítarlegar um þessi mannvirki.

5.1 Inntaksmannvirki

Inntaksmannvirki við vatnsvirkjun þjónar margþættum tilgangi og eru helstu þættir eftirfarandi:

- Halda hæð vatnsborðs innan ákveðinna marka
- Beina hluta vatnsins að vatnsvegi til virkjunarinnar
- Hleypa umframvatni framhjá í ánna eða lækinn
- Tryggja að ákveðið lágmarksstreymi sé alltaf í læknum, ef það á við

Inntakið er einn mikilvægasti byggingarhluti vatnsvirkjunar. Ef vel tekst til við hönnun inntaksmannvirkja eru miklar líkur á að rekstur virkjunarinnar gangi vel, en algengt er að rekstrarvandamál í litlum virkjunum megi rekja til vandamála við inntakið. Við hönnun og byggingu inntaks fyrir smávirkjanir er mikilvægt að taka mið af aðstæðum á staðnum. Með því má hugsanlega lækka kostnað.

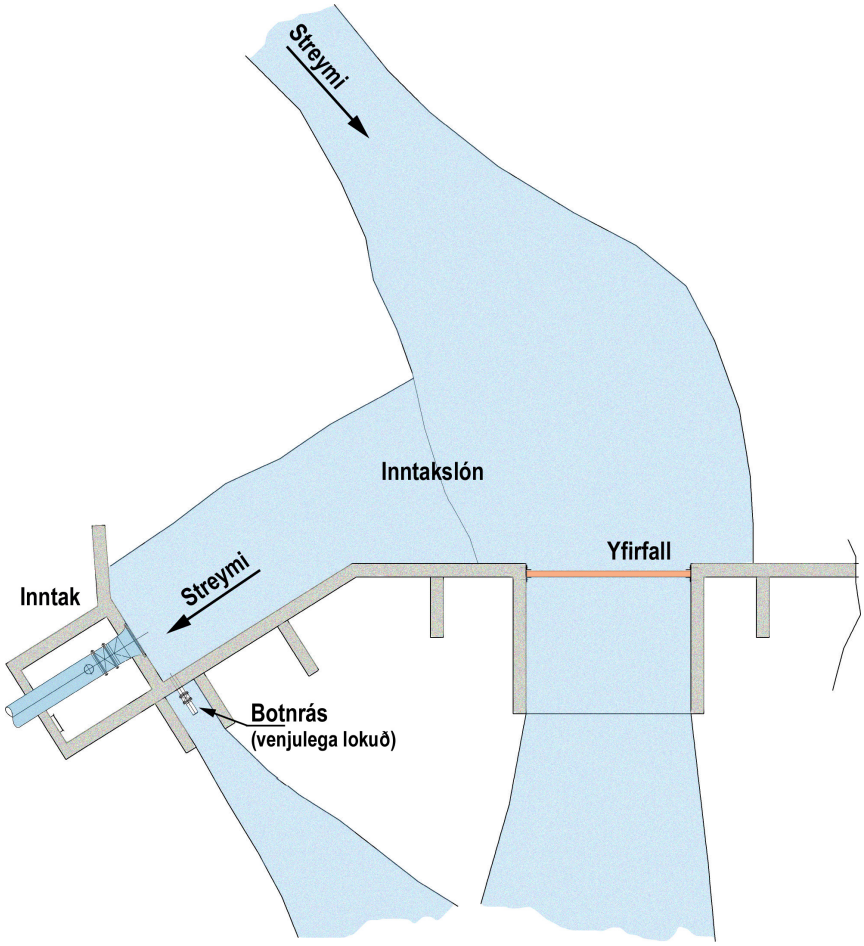
Inntaksmannvirki geta verið af ýmsum gerðum og úr ýmsum efnum. Það fer eftir stærð virkjunar, fallhæð og streymi, og ekki síst eftir aðstæðum á hverjum stað. Óháð byggingarlagi eða byggingarefnum þarf inntakið að vera með eftirfarandi búnaði:

- Inntaksop að vatnsvegi til virkjunarinnar, með inntaksrist sem varnar því að aðskotahlutir komist í vatnsveginn að virkjuninni.
- Inntaksloki eða sérsmíðuð inntaksloka, ef um er að ræða mikið rennsli. Neðan við lokann þarf að vera öndunarrör.
- Yfirfall sem tryggir að umframvatn flæði út úr inntakslóninu og í náttúrulega árfarveginn. Yfirfallið heldur þannig vatnsborði inntakslónsins innan ákveðinna marka. Við minni virkjanir getur plankastífla hentað.
- Botnrás sem notuð er til að skola út möl og sandi sem sest getur við inntaksopið. Opnun botnrásar dugar ekki til að skola út botnfalli sem sest hefur við inntakið, heldur þarf í flestum tilvikum að tæma lónið og moka úr því.

Staðsetning og stærð inntakslóns ræðst oft af aðstæðum á staðnum. Gott er að staðsetja inntakið við úttak úr stöðuvatni ef svo háttar til, við hyl í ánni, eða þar sem auðvelt er að mynda inntakslón án mikilla breytinga á landi. Við ákvörðun á stærð inntakslónsins þarf að vega ávinninginn af aukinni rýmd lónsins á móti landi sem tapast undir vatn. Það er mikilvægt að inntakslónið sé nægilega stórt (flatarmál og dýpi) til að vatnshraði í því sé sem lægstur, en þá sest aur sem áin ber með sér frekar til í lóninu. Þetta er sérstaklega mikilvægt í ám þar sem aurburður er umtalsverður, en aurburður veldur sliti á vatnsvegum og hverflum. Það er jafnframt mikilvægt að halda vatnshraða í lóni lágum til að draga úr hættu á ísvandamálum. Ef yfirborðshraðinn er nægilega lágur til að vatnsyfirboðið nái að frjósa, verður yfirborðskæling vatnsins minni, sem dregur út hættu á grunnstingli. Grunnstingull er ísing við botn eða hluti undir vatnsborði, sem verður þegar vatn sem kólnað hefur niður fyrir frostmark rennur hjá steini eða misfellu, sem veldur iðustreymi. Grunnstingull getur leitt til þess að inntaksristar lokist vegna ísingar. Það gerist þannig að ísnálar setjast á ristarnar og það byggist upp einskonar ísnálafrauð upp í strauminn, sem verður að lokum svo þétt að ristarnar stíflast. Til að

koma í veg fyrir þetta er hægt að hita ristarnar. Það er venjulega gert með því að senda rafstraum á lágri spennu í gegnum ristarnar, en við það hitna þær vegna viðnáms ristanna gagnvart rafstraumnum. Hitunin þarf að vera nægilega mikil til að koma í veg fyrir að ísnálar nái að myndast. Reynslan er góð af þessu, en ef undirkælingin er mjög mikil getur þurft óhóflega mikinn hluta raforkuframleiðslunnar til að koma í veg fyrir ísingu.[5] Ef aðgangur er að heitara vatni en árvatninu, er hægt að nota það til hitunar í stað raforku.

Ef hægt er að koma því við er kostur að inntakið sé þannig byggt að vatn að virkjuninni sé tekið þvert á farveg árinnar, en yfirfallið sé í náttúrulega farveginum, sjá mynd 5.1. Það er kostur með tilliti til meðburðar með ánni, svo sem gróðurs, aurs, íss og aðskotahluta. Þetta á sérstaklega við þar sem rennsli er breytilegt og vatnavextir algengir. Þetta fyrirkomulag inntaks hefur einnig þann kost að hægt er að vinna að byggingu inntaksins að hluta til án þess að gera ráðstafanir til að veita ánni frá. Mikilvægt er að inntaksmannvirki séu hönnuð til að þola þá áraun sem verður í mestu flóðum. Í þessu tilliti er nauðsynlegt að fríborð í stíflunni sé nægilegt og yfirfallið þannig hannað að það anni mestu flóðum.



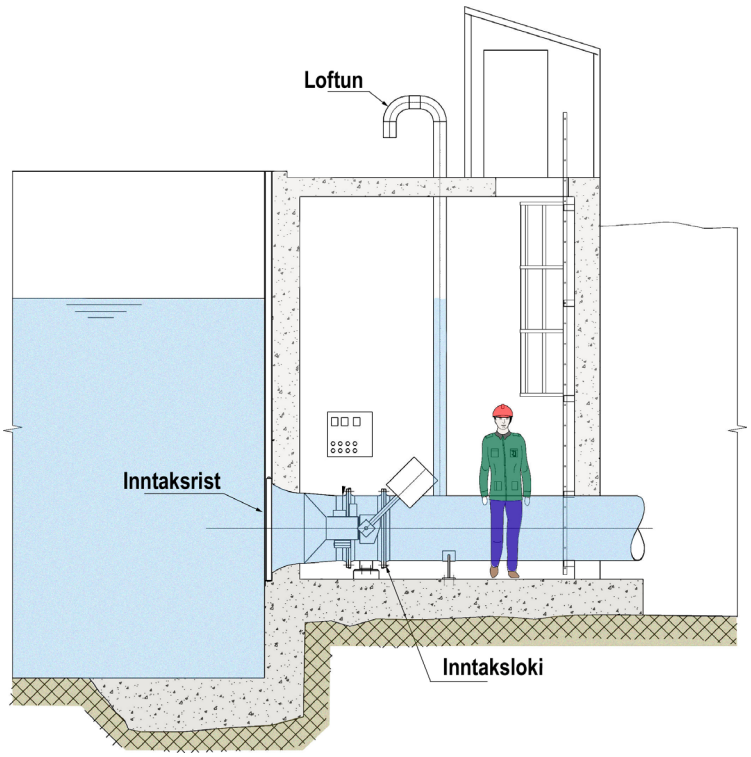
Mynd 5.1 Dæmi um fyrirkomulag við inntakslón

Óháð því hvernig inntakið er uppbyggt er nauðsynlegt að inntaksristarnar séu vel undir vatnsborðinu, helst 2 metrum undir lægsta vatnsborði, sjá mynd 5.2. Tilgangurinn með þessu er að draga úr hættu á grunnstingulsmyndun á inntaksristunum með því að ná því vatni sem er næst

[5] Moe, John o.fl. 1991, bls 22

botninum og hefur orðið fyrir minnstri yfirborðskælingu, en eðlisþyngd vatn er mest við um 4°C og lækkar þegar nær dregur frostmarki.[6] Undirkæling vatns er mest við yfirborðið og dregur úr henni með dýpinu. Æskilegt er að inntakið sé aðeins ofan við botninn til að koma í veg fyrir að aur og grjót leggist að inntaksristinni.

Inntaksristarnar gegna því hlutverki að koma í veg fyrir að aðskotahlutir komist inn í vatnsveginn og valdi tjóni á hverflinum. Bil á milli stafa í ristinni er gjarnan haft minna en minnsta opnun í gegnum hverfilinn svo að aðskotahlutir, sem komast í gegnum ristarnar, komist í gegn um hverfilinn og valdi sem minnstu tjóni. Þetta er mismunandi eftir gerð hverfla og þarf að kanna sérstaklega í hverju tilviki. Hins vegar ætti bilið á milli stafa í ristinni að vera eins mikið og hægt er til að draga úr þrýstifalli og minnka líkurnar á að á ristarnar stíflist af gróðri eða ís. Ristina ætti að hanna þannig að hún þoli að stíflast alveg. Inntaksristar eru oft smíðaðar úr flatjárnum, þannig að flatkanturinn sé samsíða streyminu. Vatnshraði rétt framan við ristarnar ætti ekki að vera meiri en 1 m/s, helst niður undir 0,6 m/s fyrir smávirkjanir. [7]



Mynd 5.2 Inntaksmannvirki

Fylgjast þarf með ristum og hreinsa þær eftir þörfum. Því er mikilvægt að aðgengi til hreinsunar sé gott, en einnig er gott að hafa möguleika á að taka ristina upp til hreinsunar. Til er sjálfvirkur búnaður til hreinsunar, en hann á helst við þar sem mikið er um lauf og greinar.

Mikilvægt er að hægt sé að loka fyrir inntakið, t.d. ef gera þarf við vatnsveginn að hverflinum. Þetta er hægt að gera með ýmsu móti, svo sem venjulegum loka, með hleraloku eða plankaloku. Þetta fer eftir stærð virkjunar, fallhæð og streymi og aðstæðum í hverju tilviki. Til eru sérhannaðir inntakslokar, sem loka sjálfvirkt ef hraði í pípunni verður of mikill, t.d. ef þrýstipípan springur.

[6] Midtre Gauldal Kommune 2001, bls 40
[7] Moe, John o.fl. 1991, bls 14

Ef áin er fiskgeng þarf að taka tillit til þess við hönnun inntaksmannvirkja. Nauðsynlegt getur reynst að gera laxastiga þannig að fiskur komist upp fyrir stífluna og niður fyrir. Ekki er síður mikilvægt að seiði komist niður fyrir virkjunina án þess að lenda í inntakinu. Það er þó hægara sagt en gert.

Við hönnun inntaksmannvirkja ætti að hafa það að markmiði að nýta sem best náttúrulegar aðstæður og legu landsins, þannig að mannvirkin falli vel að landinu. Það ætti að stuðla að hagkvæmu og fallegu mannvirki.

5.2 Stöðvarhús

Hlutverk stöðvarhússins er að verja vél- og rafbúnað og skapa aðstöðu til eftirlits með búnaði og rými til viðhalds og viðgerða. Fyrirkomulagið þarf að miða að því að uppsetning búnaðar sé sem þægilegust, svo og aðgengi að búnaði með tilliti til eftirlits og viðhaldsvinnu. Venjulega eru stöðvarhús smávirkjana á einni hæð, en stundum er þó rafbúnaðurinn hafður hærra vegna hættu á vatnsskaða. Stærð stöðvarhúsa ræðst aðallega af afköstum virkjunarinnar, en er þó háð gerð hverfils og umfangi annars búnaðar.

Þegar fyrir liggur stærð og gerð hverfils er hægt að forhanna grunn stöðvarhússins og stöðvarhúsgólfið. Hönnunin þarf meðal annars að taka tillit til álags frá þrýstipípunni. Smávirkjanir eru yfirleitt hannaðar þannig að vatnsborð í frárennslisskurði er lægra en stöðvarhúsgólfið. Þegar hæð vatnsborðs í frárennslisskurðinum liggur fyrir er hægt að ákveða í hvaða hæð hverfillinn á að vera og þar með gólfkóta stöðvarhússins. Mikilvægt er að vanda þessar ákvarðanir, sérstaklega ef um er að ræða hverfla með sogras (Kaplan, Francis). Það er vegna þess að soghæðin ræðst af hæðarmun hverfils og bakvatns, og þarf að veljast þannig að fallhæðin nýtist sem best án þess að hætta sé á slittæringu/holumyndun (kavítation) í vatnshjóli hverfilsins. Það er venjan að ábyrgð framleiðenda miðast við gefnar forsendur um hæðir.

Ef hætta er á að vatnsstaða í frárennslisskurði geti orðið hærri en stöðvarhúsgólfið, til dæmis í miklum flóðum eða vegna krapastíflu, er æskilegt að hafa rafbúnaðinn hærra í stöðvarhúsinu. Ef um spyrnuhverfil er að ræða (Pelton, Turgo) þarf að stöðva hverfilinn áður en bakvatnið fer upp í vatnshjólið og veldur tjóni.

Stöðvarhús eru venjulega með steinsteyptum grunni og gólfplötu, en yfirbyggingin getur verið með ýmsu móti. Við hönnunina þarf að hafa í huga að dyr séu hæfilega stórar til að koma inn stærstu hlutum, svo sem rafala og hverfli. Einnig þarf að huga að því hvort hafa eigi krana í stöðvarhúsinu til að lyfta þyngstu hlutum.

Ef stöðvarhúsið er nálægt byggð þarf hljóðeinangrun að vera ásættanleg. Rafalinn og annar rafbúnaður gefur frá sér nokkurn varma, vegna tapa. Til dæmis gefur 100 kW rafali með 95% nýtni (5% töp) frá sér um 5kW varma. Þetta þarf að hafa í huga við ákvörðun um það hvort þörf er á sérstöku loftræstikerfi og/eða hitakerfi. Ef nýta á varma frá rafalanum til að hita húsið, þarf að taka tillit til þess hversu stöðugt álag er á virkjuninni og hvernig hitun verður háttað þegar virkjunin er ekki í gangi.

Vegur þarf að vera að stöðvarhúsinu, þannig að hægt sé að flytja þangað aðföng og sinna viðhaldi eftir að virkjunin er komin í rekstur.

Við staðsetningu og hönnun stöðvarhúss ætti að hafa það að markmiði að fella mannvirkið sem best að landinu þannig að það verði sem minnst áberandi og vegir valdi sem minnstri röskun.

5.3 Vatnsvegir

Vatnsvegir eru þeir hlutar virkjunarinnar sem flytja vatnið frá inntakslóninu að stöðvarhúsinu og frá stöðvarhúsinu til baka í ánna. Eins og lýst er í kafla 2 geta vatnsvegirnir verið með ýmsu móti, eftir aðstæðum. Gerð vatnsvega gæti virst einföld, í ljósi þess að hægt er að kaupa allar gerðir og stærðir af pípum. Til að ná sem hagkvæmastri lausn þarf hins vegar að huga að ýmsum þáttum, og eru þeir helstu nefndir hér:

- **Fyrirkomulag**: Huga þarf að legu landsins þegar fyrirkomulag vatnsvega að virkjuninni er ákveðið. Tvær eftirfarandi meginaðferðir koma til greina:
  - Ef landhalli býður uppá það, getur verið hagstætt að skipta vatnsveginum upp í lágþrýstan hluta að jöfnunarþró og þaðan hina eiginlegu þrýstipípu. Láþrýstihlutinn er þá lögn eða skurður, sem er með litlum halla og endar í opinni jöfnunarþró, og þrýstipípan frá þrónni með meiri halla að stöðvarhúsinu. Reynsla af skurðum fyrir aðrennsli að smávirkjunum er hins vegar slæm, því í þá safnast krapi og áfok. Því er fremur mælt með að nota lágþrýsta pípu eða stokk.
  - Ef landið er nokkuð jafnhalla er betra að hafa lokaða pípu frá inntakslóni að stöðvarhúsi.
- **Lagnaleið:** Þegar lagnaleiðin er valin þarf að huga að ýmsum þáttum svo sem:
  - Hvaða leið hentar best með tilliti til þess að jarða pípuna eða hafa pípuna ofanjarðar á undirstöðum
  - Hvernig hagar til með að steypa festur fyrir pípuna
  - Hvernig er að koma vegaslóða að pípunni
  - Hvaða lagnaleið hefur í för með sér minnstu jarðvinnu og vegagerð
  - Hvaða lagnaleið leiðir til ódýrustu pípugerðar með tilliti til efniskaupa, uppsetningar og viðhalds
  - Hvaða lagnaleið fellur best að landinu og er minnst áberandi
- **Efnisval:** Val á efni er háð ýmsum þáttum, svo sem þrýstingi, hvort pípan verður jörðuð eða á undirstöðum, hversu mikill hallinn er og hvert þvermálið er.
- **Þvermál:** Því meira sem þrýstifallið í pípunni er (orkutöp) því minni verður orkuvinnslan, en hins vegar verður stofnkostnaðurinn lægri. Kanna þarf hvaða þvermál er hagstæðast með tilliti til þessara þátta.

Burtséð frá því hvaða lagnaleið er valin eða efni, þá þarf að vanda til lagningarinnar svo ekki verði færslur á pípunni sem valda skemmdum á henni. Pípur sem eru á undirstöðum þarf að festa á réttan hátt við undirstöðurnar þannig að tekið sé tillit til hreyfinga vegna hitabreytinga. Niðurgrafnar pípur sem settar eru saman með múffum þarf að festa tryggilega við beygjur. Hönnun stærri aðrennslispípna er frekar flókin og ráðlagt er að leita sérfræðiráðgjafar við hönnun þeirra.

Aðrennslispípur geta verið úr ýmsum efnum og eru nokkur þau algengustu eftirfarandi:

- **Polyethylen plaströr (PEH):** Þessi rör eru sveigjanleg og eru soðin saman. Þau henta vel þar sem hægt er að jarða rörin og landhalli er ekki mjög mikill. PEH rör eru síður hagkvæm fyrir háan þrýsting og mikið þvermál.
- **Glertrefjastyrkt rör (GUP):** Þessi rör eru stíf og eru sett saman með múffum. Þau henta vel í meira þvermál og þar sem þrýstingur er nokkuð hár.

- **Stálrör:** Stálrör eru vel þekkt. Þau henta best þar sem erfitt er að jarða rörin, svo sem í klöpp eða í bröttum fjallshlíðum. Þar sem fallhæð er mikil eru stálrör gjarnan notuð í neðri hluta þrýstipípu, þar sem þrýstingur er hæstur. Stálrör þarf að verja gegn tæringu.
- **Pottrör (ductile iron):** Þau henta best við svipaðar aðstæður og stálrör. Þau er hægt að fá með tæringarvörn og henta þá vel til að leggja í jörð.

Einnig má nefna PVC-rör, steinrör og tréstokka.

Þvermál aðrennslispípu ræðst af hagkvæmniathugun, eins og nefnt var hér að framan. Þrýstifallið í pípunni eykst með vatnshraðanum vegna viðnáms við rörvegginn. Algengt er að vatnshraði í aðrennslispípum sé á bilinu 1-3 m/s.[8]

Þvermál aðrennslispípunnar er reiknað skv. formúlunni:

$$D_i = 1{,}128\ (Q / v)^{1/2} \qquad (5.1)$$

Þar sem :

D_i er innra þvermál pípunnar í metrum (m)

Q er rennslið í rúmmetrum á sekúndu (m^3/s)

v er vatnshraðinn í pípunni í metrum á sekúndu (m/s)

Þrýstifall í pípunni má reikna með eftirfarandi formúlu:

$$\Delta P = L/D_i\ f\ \rho\ v^2/20000 \qquad (5.2)$$

Þar sem :

ΔP er þrýstifallið í metrum vatnssúlu (mVs)

L er lengd pípunnar í metrum (m)

D_i er innra þvermál pípunnar í metrum (m)

v er vatnshraðinn í pípunni í metrum á sekúndu (m/s)

f er viðnámsstuðull án einingar

ρ er eðlisþyngd vatns í kílóum á rúmmetra (kg/m^3)

Ef reikna á með nákvæmni út úr þessari formúlu þarf að reikna viðnámsstuðulinn f, sem er háður þvermáli pípunnar, vatnshraða og hrjúfleika pípunnar og seigju vatnsins. Þetta er nokkuð flókið. Til að fá sæmilega hugmynd um þrýstifallið í fyrstu athugunum er sett fram eftirfarandi nálgun fyrir stuðulinn f:

f = 0,015 fyrir pípuþvermál á bilinu 0,4-1,2 m og vatnshraða á bilinu 1-3 m/s.

f = 0,02 fyrir pípuþvermál á bilinu 0,2-0,4 m og vatnshraða á bilinu 1-3 m/s.

Þá má endurrita formúla 5.2 sem nálgunarformúlu, sem verður með því að setja inn fyrir eðlisþyngd vatns 1000 kg/m3 :

$\Delta P = L/D_i\ v^2/1333$ Fyrir þvermál pípu á bilinu 0,4 til 1,2 m og vatnshraða á bilinu 1 til 3 m/s

$\Delta P = L/D_i\ v^2/1000$ Fyrir þvermál pípu á bilinu 0,2 til 0,3 m og vatnshraða á bilinu 1 til 3 m/s

[8] Rian, Åshild o.fl. 2001, bls. 33

Þó að þrýstifallið sé alla jafna mest í pípunni sjálfri þarf einnig að taka tillit til loka, beygja, inntaksrista og þess háttar. Þessir útreikningar nægja hins vegar til að setja fram fyrstu tillögur að þvermáli aðrennslispípu.

Einnig er vakin athygli á að hægt er að nota línurit eða töflur, sem sýna þrýstifall á lengdareiningu pípu fyrir mismunandi streymi og pípuþvermál. Þessi línurit er t.d. hægt að nálgast hjá pípuframleiðendum.

Með hagkvæmniathugun er hægt að meta hvaða þrýstifall er hæfilegt að miða við. Einnig er hægt að miða við að þrýstifallið sé innan við ákveðið hlutfall af fallhæðinni, skv. uppgefnum viðmiðunum. Það er nokkuð mismunandi hvað ráðlagt er að miða við. Í einni heimild er sagt að venja sé að sætta sig við töp vegna þrýstifalls séu innan við 10% af fallhæðinni.[9] Í annarri heimild er bent á yfirleitt sé ásættanlegt að falltöpin séu innan við 4%.[10]

Ef snögglega dregur úr rennslinu í gegnum hverfilinn, t.d. við miklar álagsbreytingar, útslátt, eða vegna bilunar í búnaði, þá hækkar þrýstingurinn í aðrennslispípunni. Við það myndast þrýstisveifla við hverfilinn, sem færist upp eftir pípunni, en aftan við þrýstisveifluna verður undirþrýstingur. Þessar sveiflur á þrýstingnum geta valdið skemmdum á pípunni. Þrýstisveiflur vegna eðlilegra breytinga á álagi geta valdið allt að 25% þrýstiaukningu þegar um er að ræða spyrnuhverfla (Pelton, Turgo) og enn meiri aukningu, eða 25-50%, þegar um gagnspyrnuhverfla (Francis) er að ræða [11]. Þetta ræðst af stillingum gangráðs. Ef þrýstipípan er ekki nógu sterk til að þola þennan viðbótarþrýsting þarf að verja hana fyrir vatnshögginu. Það er hægt að gera með ýmsu móti og ræðst nokkuð af aðstæðum á hverjum stað. Sem dæmi um lausn má nefna eftirfarandi:

- Dempunarbúnað, sem settur er á lögnina næst hverflinum (t.d. loft eða gas)
- Opna þró í þrýstipípunni, sem nær upp fyrir efsta vatnsborð. Þetta á helst við ef síðasti hluti þrýstipípunnar er tiltölulega brattur og stuttur
- Öryggisloki eða sprengidiskur sem opnast við ákveðinn þrýsting

Hönnun þrýstipípu með tilliti til þrýstisveiflna er háð aðstæðum á hverjum stað, svo sem lengd þrýstipípunnar, fallhæð, vatnshraða í pípunni og gerð hverfils. Þetta þarf að skoða sérstaklega í hverju tilviki.

[9] Rian, Åshild o.fl. 2001, bls. 33
[10] Penche, Celso 1998, bls. 141
[11] Penche, Celco 1998, bls 148

6 VÉL- OG RAFBÚNAÐUR

Hver vatnsvirkjun hefur sína sérstöðu, og val á vélbúnaði og rafbúnaði er háð aðstæðum á hverjum stað. Það er því ekki hægt að velja rör, loka, hverfil og rafala án þess að kanna vel aðstæður á staðnum. Ráðlagt er að fá leiðbeiningar frá sérfræðingum við val á búnaði, vegna þess að það hefur sýnt sig að við byggingu smávirkjana hafa margir valið óheppilegan búnað.[12]

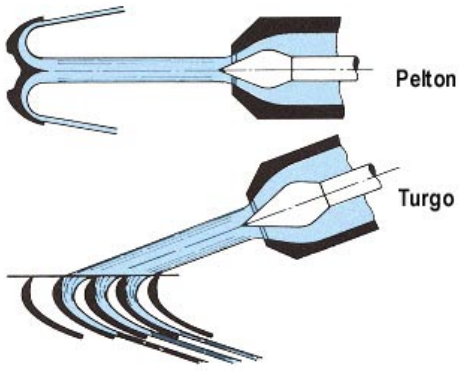
Þessum kafla er einungis ætlað að kynna helsta búnað og vera til leiðbeininga um hvaða búnaður hentar við mismunandi aðstæður. Eins og áður hefur komið fram eru fallhæðin og rennslið ráðandi um val á búnaði, en einnig er vakin athygli á því að breytileiki í rennsli eða notkun raforku skiptir einnig miklu máli um val á hverfli.

6.1 Vatnshverflar- Yfirlit

Vatnshverflar breyta vatnsorkunni í vélræna snúningsorku sem knýr rafalann. Val á hverfli ræðst af fallhæð og rennsli. Einnig hefur það áhrif á valið hvort álagið eða rennslið í ánni er breytilegt. Vatnshverflar eru af mörgum gerðum. Þeim er skipt í tvo meginflokka eftir því með hvaða móti vatnsorkan virkar á hjólið í hverflinum. Þessir flokkar hafa verið nefndir spyrnuhverflar eða bunuhverflar ("impulse turbines") annars vegar og gagnspyrnuhverflar eða yfirþrýstingshverflar ("reaction turbines") hins vegar. Dæmi um spyrnuhverfil eru Pelton og Turgo. Dæmi um gagnspyrnuhverfil eru Francis og Kaplan.

Hér að neðan er gerð stuttlega grein fyrir mismunandi gerðum hverfla:

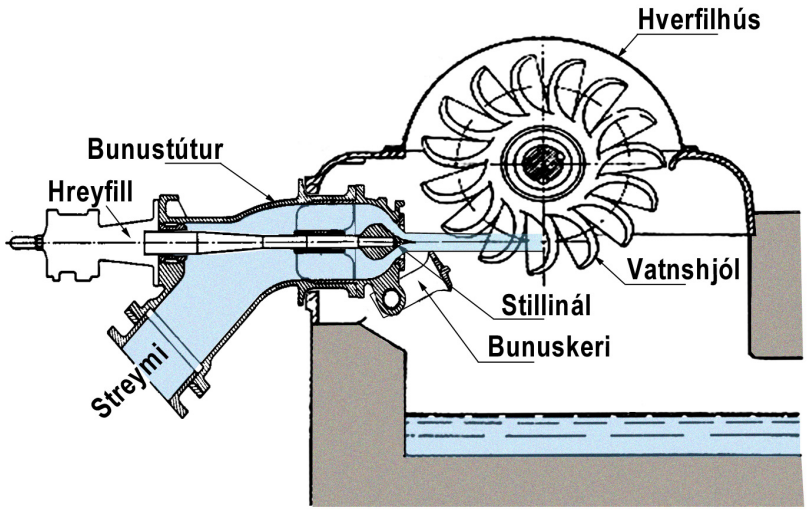
Pelton: Pelton hverfillinn er spyrnuhverfill. Hann hentar vel við mikla fallhæð og lítið rennsli. Pelton hverfillinn er ýmist með láréttan eða lóðréttan snúningsás, en algengara er að ásinn sé láréttur í smávirkjunum. Vatninu er beint að vatnshjólinu með svokölluðum bunustútum. Bunan lendir á blöðunum og knýr þannig hjólið áfram. Lögun hjólblaðanna er þannig að þegar bunan lendir á þeim, klofnar hún í tvennt, breytir um stefnu og fer út úr hjólblaðinu í svo til í öfuga átt og fellur svo niður í frárennslið, sjá mynd 6.1. Hverfilhúsið varnar því að vatnið slettist um allt, en inni undir því er loft og þrýstingurinn jafn andrúmsloftsþrýstingi. Dæmigerður Pelton hverfill með láréttan snúningsás er sýndur á mynd 6.2. Bunustútarnir eru oftast einn eða tveir á hverfli með láréttan ás, en geta verið allt að sex á hverfli með lóðréttum ás. Sjaldgæft er þó að stútarnir séu fleiri en 4 á litlum hverflum. Afköstum hverfilsins er stjórnað af gangráðinum, með því að auka eða minnka rennslið í gegnum nálarloka, sjá mynd 6.2. Það er gert með því að færa nálina fram eða aftur í gatinu. Ef taka þarf álagið skyndilega af hverflinum, t.d. ef álag fer af virkjuninni, er bununni beint frá vatnshjólinu með bunuskera ("jet deflector"), sem sker af bununni með snöggri hreyfingu, svo að minna vatnsmagn lendir á hverfilskóflunum. Síðan er nálarlokanum lokað rólega til að koma í veg fyrir þrýstisveiflur í þrýstipípunni og bunuskerinn færður til baka á sinn stað. Venjulega er þvermál vatnshjólsins 10-20 sinnum stærra en þvermál bununnar, háð



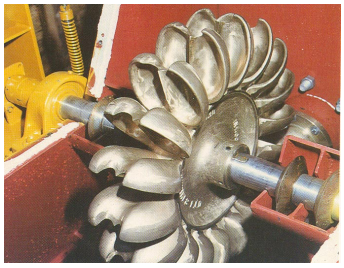
Mynd 6.1 Bunustútar fyrir Pelton og Turgo

[12]Rian, Åshild o.fl., bls. 17

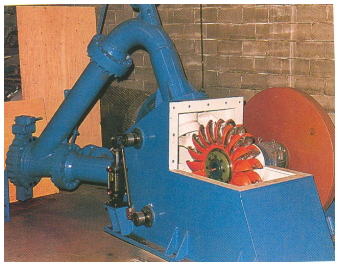
stærð og dreifingu skóflnanna. Nettó- fallhæð fyrir Pelton hverfla er reiknuð sem mismunur á vatnshæð í inntakinu og hæð bunustúta inn á hverfil, að frádregnum viðnámstöpum í vatnsvegum, sjá mynd 3.3. Oft eru höfð vatnshjól beggja megin við rafala.



Mynd 6.2 Pelton hverfill með einn bunustút



Mynd 6.3 Vatnshjól fyrir Pelton hverfil



Mynd 6.4 Tveggja stúta Pelton hverfill

Þegar kemur að vali á hverfli eru helstu kostir Pelton umfram Francis:

- Henta betur þar sem álag er breytilegt og þar sem keyra þarf á hlutaálagi, svo sem vegna breytilegs álags eða rennslis. Nýtni er góð á lágu álagi.
- Ekki er hætta á miklum þrýstisveiflum í þrýstipípu eða yfirhraða hverfils. Svo er bunuskera fyrir að þakka.
- Henta betur þar sem meðburður er nokkur og hætta á sliti, eru auðveldari í viðhaldi.
- Ekki eins viðkvæmir fyrir breytingu í fallhæð.
- Eru einfaldari og með færri hreyfanlega hluti og því einfaldari og ódýrari í rekstri.

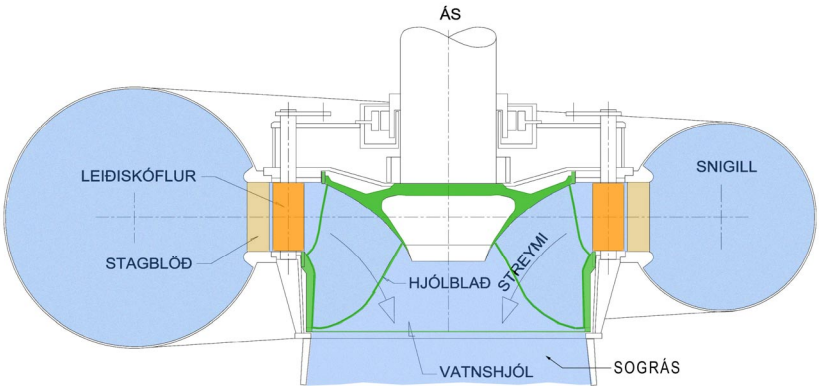
Turgo: Turgo hverfillinn er spyrnuhverfill, og er eins og Pelton hverfillinn að öðru leyti en því að vatnshjólið sjálft er frábrugðið. Hann hentar fyrir lægri fallhæð en Pelton hverfillinn fyrir sama streymi. Dæmigert vatnshjól er sýnt á mynd 6.5. Bunan kemur inn í hjólið frá annarri hliðinni og fer út á hinni hliðinni, sjá mynd 6.1. Eins og sést á mynd 6.1 getur Turgo vatnshjólið tekið í gegnum sig meira vatn en Pelton hjól fyrir sama snúningshraða og þvermál. Það er vegna þess að bunan lendir á nokkrum blöðum samtímis, en á Pelton vatnshjóli er einungis ein skófla virk í einu.

Hlutfall þvermáls vatnshjóls og bunu er því lægra í Turgo hverfli en í Pelton hverfli, eða á bilinu 5 til 10. Þetta er ástæðan fyrir því að Turgo hverfillinn er hagkvæmari en Pelton við lægri fallhæðir miðað við sama streymi. Aðrir þættir eru sambærilegir.

Helstu kostir Turgo umfram Francis þeir sömu og kostir Pelton umfram Francis.

Mynd 6.5 Vatnshjól fyrir Turgo hverfil

Francis: Francis hverfillinn er gagnspyrnuhverfill. Hann hentar fyrir meðal fallhæð og rennsli, en þó er vinnslusvið þessara hverfla nokkuð vítt. Francis hverflar í smávirkjunum eru oftast með láréttum ás, en í stærri virkjunum er algengara að snúningsásinn sé lóðréttur. Vatninu er beint úr þrýstipípunni inn í spíral sem umlykur vatnshjólið, sjá mynd 6.6.



Mynd 6.6 Snið í Francis hverfil með lóðréttan ás

Úr spíralnum dreifist vatnið jafnt inn í vatnshjólið og er vatnsmagninu inn í hjólið stjórnað með svokölluðum leiðiskóflum. Leiðiskóflunum, sem eru margar, er raðað umhverfis vatnshjólið og stjórnað sem einni heild, af gangráði. Afköstum hverfilsins er stjórnað með þeim. Vatnið frá leiðiskóflunum lendir á hjólblöðunum og knýr þannig hjólið áfram með því að þrýstingurinn fellur og hraði vatnsins minnkar. Frá vatnshjólinu fer vatnið í sogrörið, en hlutverk þess er að nýta vatnshæðina á milli hverfilsins og frárennslisins. Hverfilhúsið er fullt af vatni og þarf að þola fullan þrýsting. Vatnshjól Francis hverfla eru mismunandi að lögun eftir fallhæð og rennsli, sjá mynd 6.7.

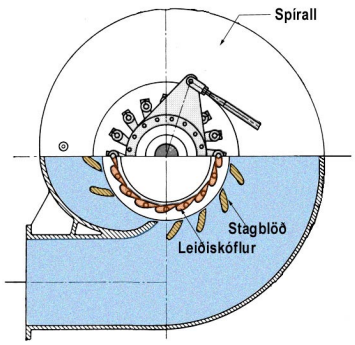
Mynd 6.7 Mismunandi gerðir vatnshjóla fyrir Francis hverfla eftir fallhæð.[13] N_q er eðlishraði hverfils, sjá kafla 6.2

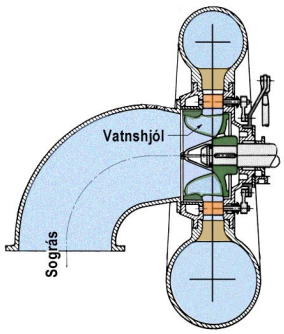
[13] Þórólfur Árnason 1983, bls. 42

Nettó- fallhæð Francis hverfla er reiknuð sem mismunur á vatnshæð í inntaki og hæð vatnsborðs í frárennslisskurði, að frádregnum viðnámstöpum í vatnsvegum, sjá mynd 3.4

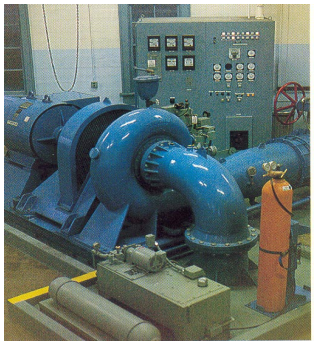
Þegar kemur að vali á hverfli eru helstu kostir Francis umfram Pelton:

- Hafa hærri snúningshraða fyrir sömu aðstæður og því er auðveldara að beintengja rafalann
- Nýta fallhæðina betur
- Tekur yfirleitt minna rými
- Hámarksnýtni er hærri, en nýtni fellur reyndar við hlutaálag
- Minni hætta á skemmdum vegna flóða í frárennslisskurði



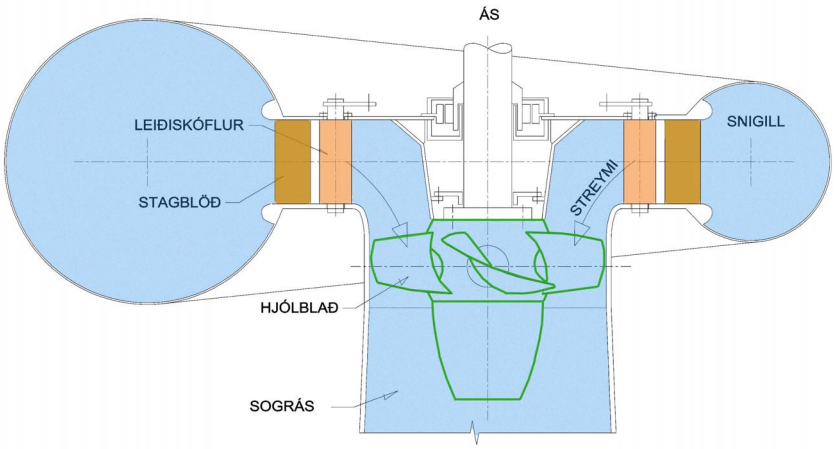


Mynd 6.8 Langsnið og þversnið Francis hverfils með láréttan snúningsás



Mynd 6.9 Francis hverfill

Kaplan: Kaplan hverfillinn er gagnspyrnuhverfill. Hann er líklega þekktasti hverfillinn af ásstreymisgerð. Önnur afbrigði af ásstreymishverflum eru skrúfuhverfill, peruhverfill ("bulb-turbine") og tunnuhverfill ("tube-turbine"). Ásstreymishverflar eru gerðir fyrir mikið rennsli og litla fallhæð og vatnshjólið minnir á skipsskrúfu. Ásstreymishverflar eiga það sameiginlegt að vatnið streymir samsíða snúningsásnum í gegnum vatnshjólið. Ásstreymishverflar geta verið með föstum eða stillanlegum hjólblöðum og föstum eða stillanlegum leiðiskóflum. Snúningsásinn getur verið lóðréttur, hallandi eða láréttur. Þegar um er að ræða stærri hverfla með lóðréttan ás er vatnið leitt að vatnshjólinu um snigil en við minni hverfla er ekki alltaf snigill.



Mynd 6.10 Snið í Kaplan hverfil með lóðréttan ás

VGK 2003

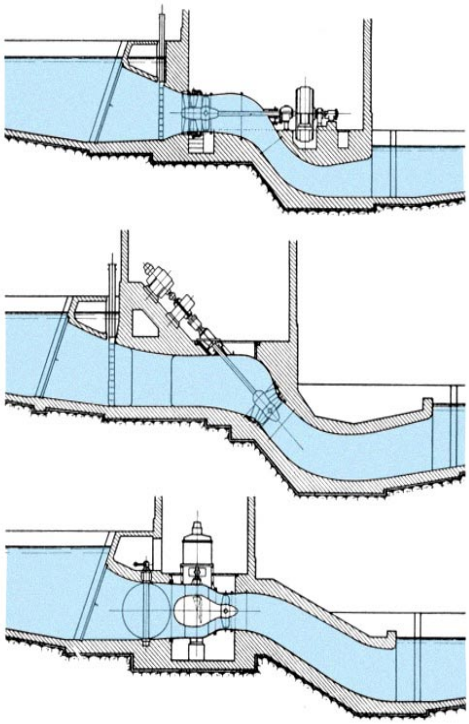
Kaplan hverflar eru um margt svipaðir Francis hverflum. Vatninu er beint úr þrýstipípunni inn í spíral sem umlykur vatnshjólið, sjá mynd 6.10. Sogras er sambærileg við Francis hverfla. Kaplan hverflar eru með stillanleg hjólblöð og leiðiskóflur, sem hreyfast í samræmi við skurð hjólblaðanna til að ná sem bestri nýtni. Þetta hentar vel fyrir breytilegt rennsli, fallhæð og álag. Skrúfuhverfillinn er hins vegar með föstum hjólblöðum en eins og Kaplan hverfillinn að öðru leyti.

Fyrir lægri fallhæðir er algengt að koma hverflinum fyrir í vatnsveginum án þess að breyta mikið stefnu vatnsins. Þessir hverflar geta verið með föstum eða stillanlegum skurði hjólblaða og leiðiskófla, sjá myndir 6.11 og 6.12. Dæmi um hverfla af þessari gerð eru Peruhverfillinn sem er staðsettur í sjálfri straumrásinni, án snigils, með rafalann niðri í vatninu framan við vatnshjólið. Tunnuhverfillinn er sambærilegur við peruhverfilinn að öðru leyti en því að rafalinn er ástengdur út úr vatnsrásinni. Hann hentar betur fyrir smávirkjanir.

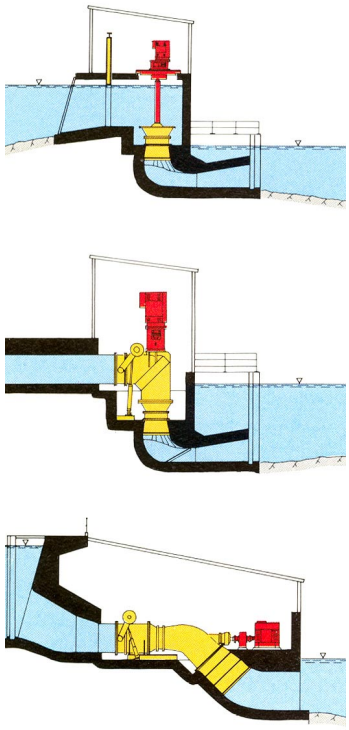
Nettó- fallhæð Kaplan hverfla er reiknuð sem mismunur á vatnshæð í inntaki og hæð vatns-borðs í frárennslisskurði, að frádregnum viðnámstöpum í vatnsvegum.

Þegar kemur að vali á hverfli eru helstu kostir Kaplan umfram Francis:

- Henta vel við breytilegt rennsli, fallhæð og álag
- Hafa hærri snúningshraða fyrir sömu aðstæður og því er auðveldara að beintengja rafala
- Nýtni er jöfn fyrir breytilegt rennsli og fallhæð. Það á einungis við Kaplan en ekki við skrúfuhverfil með föstum hjólblöðum



Mynd 6.11 Langsnið í ásstreymishverfla, tveir þeir efri eru tunnuhverfl-ar en neðst er peruhverfill [14]



Mynd 6.12 Langsnið í ásstreymishverfla, mismunandi fyrirkomulag [15]

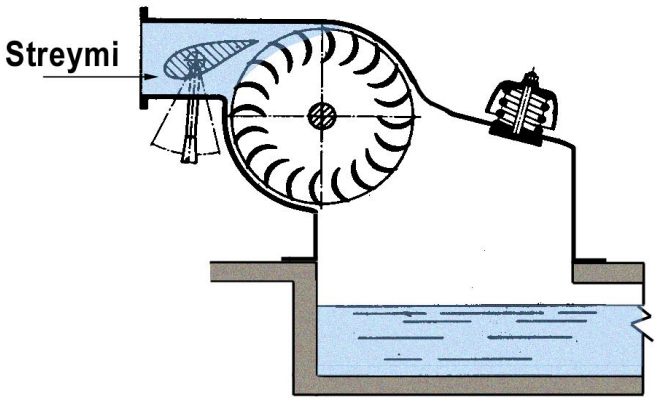
[14] Heinrich Press 1967, bls. 442
[15] Engineers from The Swedish Power Association, Vattenfall, Skanska, VBB 1981, bls. 74

Cross Flow: Cross Flow hverfillinn flokkast sem spyrnuhverfill. Hann hefur einnig verið nefndur þverstraumshverfill, en hér verður talað um Cross-Flow. Hann hentar vel ef fallhæð er í lægri kantinum. Vatninu er stjórnað inn á vatnshjólið með einni eða tveimur blöðkum, sjá mynd 6.13. Vatnshjólið er sívalningur með blöðunum þvert á streymisáttina. Hjólblöðin eru borin uppi af tveimur eða fleiri hringlaga plötum.

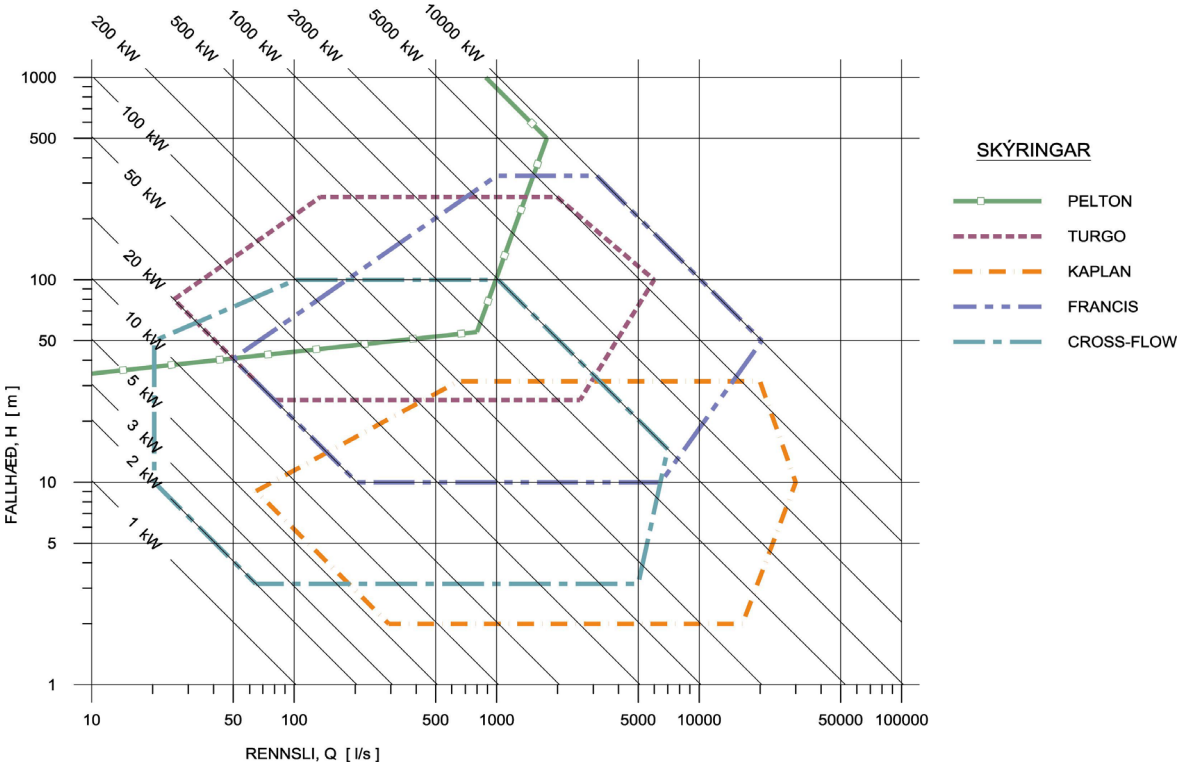
Nettó- fallhæð fyrir Cross Flow hverfla er reiknuð sem mismunur á hæð í inntakinu og hæð vatnsinntaksins inn á hverfil, að frádregnum viðnámstöpum í vatnsvegum. Stundum er hafður undirþrýstingur í hverfilhúsinu til að auka fallhæðina. Ef þetta er gert þarf að huga að því að ekki verði slittæring í vatnshjólinu.

Helstu kostir Cross Flow hverfla:

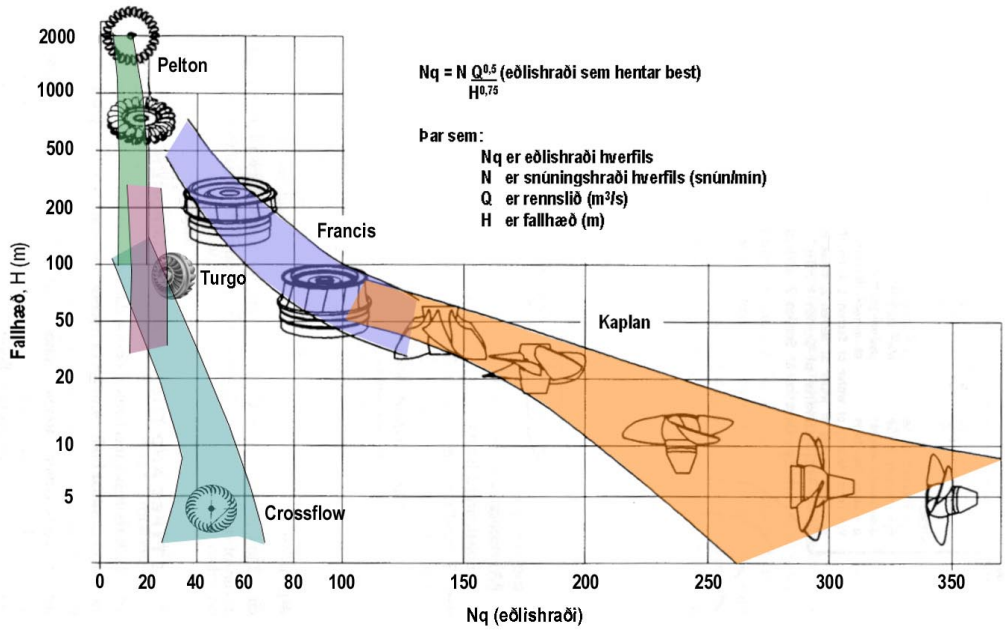
- Henta vel þar sem álag er breytilegt og þar sem keyra þarf á hlutaálagi, svo sem vegna breytilegs álags eða rennslis.
- Nýtnin er nokkuð jöfn yfir vinnslusvið, en er lægri en í hefðbundnum hverflum.



Mynd 6.13 Snið í Cross Flow hverfil



Mynd 6.14 Dæmi um virknisvið lítilla hverfla



Mynd 6.15 Samhengi eðlishraða og fallhæðar sem hentar mismunandi hverflum

6.2 Virknisvið vatnshverfla

Það er mikilvægt að velja hverfil sem hentar sem best fallhæð og rennsli á hverjum stað. Mynd 6.14 er byggð á upplýsingum frá framleiðendum og sýnir hvaða hverfla er mögulegt að nota fyrir mismunandi fallhæð og rennsli. Fyrir gefna fallhæð og rennsli koma margar gerðir hverfla til greina. Til að kanna betur hvaða hverflar henta best fyrir ákveðnar aðstæður er stuðst við svokallaðan eðlishraða vatnshverfla, sem er kennistærð sem notuð er við hönnun hverfla, sjá mynd 6.15. Eðlishraðinn er háður rennsli, fallhæð og snúningshraða hverfilsins og má reikna samkvæmt eftirfarandi formúlu:

$$N_q = N\, Q^{0,5} / H^{0,75} \qquad (6.1)$$

þar sem:

N_q er eðlishraði hverfilsins

N er snúningshraði hverfilsins í snúningum á mínútu (sn/mín)

Q er streymið í rúmmetrum á sekúndu (m^3/s)

H er fallhæðin í metrum (m)

Af formúlunni má sjá að hægt er að hafa áhrif á eðlishraðann með vali á snúningshraða hverfilsins.

Dæmi:

Gerum ráð fyrir eftirfarandi aðstæðum:

Fallhæð H er 110 m

Rennslið Q er 500 lítrar á sekúndu eða 0,50 m^3/s

Út frá þessum forsendum má nota mynd 6.14 til að sjá að til greina kemur að nota Turgo, Pelton og Francis hverfil.

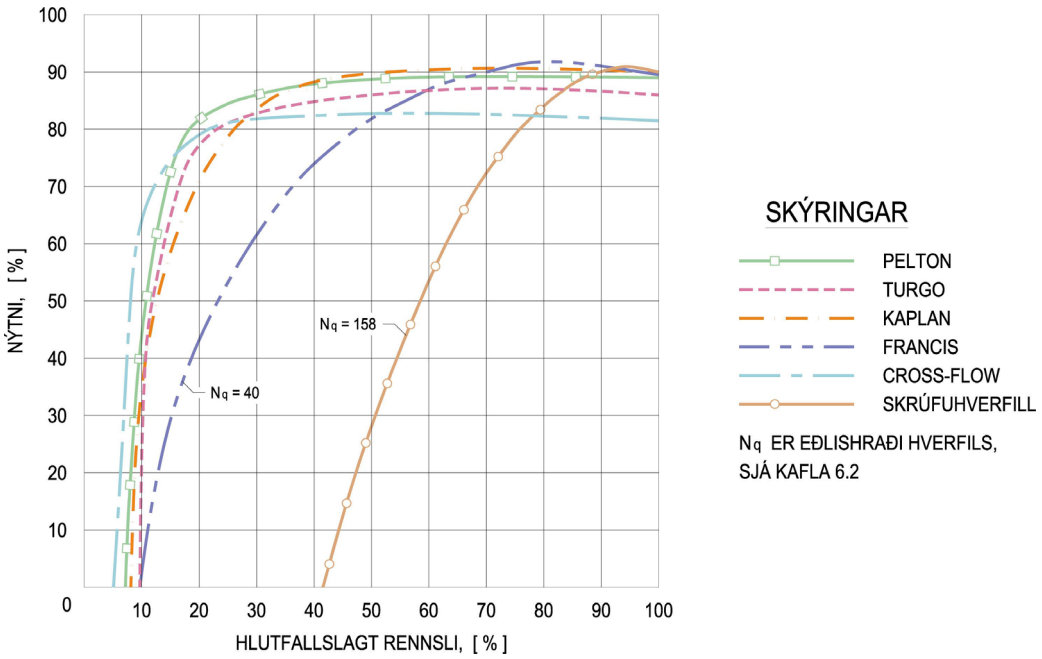
Ef snúningshraði er valinn 1000 sn/mín verður eðlishraðinn:

$$N_q = 1000 \times (0,50)^{0,5} / 110^{0,75} = 20,8$$

Skv. mynd 6.15 sést að það mundi því henta best að nota Turgo hverfil. Við forhönnun væri þó eðlilegt að spyrjast fyrir um verð og tilhögun hjá framleiðendum þeirra vélagerða sem til greina gætu komið. Með því fást fyrstu hugmyndir um verð, nýtni og fyrirkomulag búnaðar. Við val á vélargerð er jafnframt mikilvægt að taka tillit til breytileika í álagi og rennsli, því það skiptir máli við val á hverfilgerð.

6.3 Nýtni

Nýtni véla er almennt skilgreind sem hlutfallið á milli þess afls sem fæst út úr ákveðinni vél og þess afls sem sett er inn í vélina. Þetta er tala sem er minni en 1, en oft er nýtnin sett fram í prósentum. Heildarnýtni vél- og rafbúnaðar í vatnsorkuveri er hlutfallið milli rafaflsins sem kemur út af rafalanum og aflsins sem fólgið er í vatninu rétt áður en það fer inn á hverfilinn. Heildarnýtnin er háð nýtni hverfilsins, rafalans og drifbúnaðar á milli hverfils og rafala, ef um slíkt er að ræða. Á sama hátt er nýtni hverfilsins skilgreind sem hlutfallið á milli aflsins sem hann skilar á öxulinn út af hverflinum og aflsins sem fólgið er í vatninu rétt áður en það fer inn á hverfilinn. Hliðstætt gildir um nýtni rafala og drifbúnaðar. Heildarnýtni kerfisins fæst með því að margfalda saman nýtni einstakra hluta, þ.e. hverfils, rafala og drifbúnaðar.



Mynd 6.16 Nýtni mismunandi gerða lítilla vatnshverfla

Nýtni vatnshverfla er mismunandi eftir gerðum, en einnig er nýtni hverrar gerðar mismunandi eftir því hversu vel hverfillinn hentar aðstæðum, þ.e. rennsli og fallhæð. Vatnshverflar eru gjarnan hannaðir þannig að hámarksnýtni náist við um 80% af fullu álagi. Nýtni við hlutaálag er mjög mismunandi eftir gerð hverfla. Mikilvægt er að hafa þetta í huga þar sem aðstæður eru þannig að oft er keyrt á hlutaálagi. Keyrsla við hlutaálag getur verið vegna þess að ekki er nægilegt vatn í boði eða að raforkunotkunin er breytileg. Á mynd 6.16 eru sýndir dæmigerðir nýtniferlar fyrir vatnshverfla, en vakin er athygli á því að þeim er fyrst og fremst ætlað að sýna lögun nýtniferla fyrir mismunandi gerðir hverfla en ekki nákvæm gildi. Almennt er nýtni lítilla hverfla lægri en stórra. Stærðin hefur þó minni áhrif á nýtni hverfla með bunustút en gagnspyrnuhverfla.

Hér á eftir er fjallað lítillega um nýtni hverrar gerðar:

- **Pelton:** Nýtnikúrfan er flöt og er nýtnin gjarnan yfir 80% niður undir 20% álag. Eftir því sem bunustútarnir verða fleiri því flatari verður nýtnikúrfan. Vænta má hámarksnýtni á bilinu 86-90% fyrir litla hverfla. Hentar vel við breytilegt álag eða rennsli.
- **Turgo:** Nýtnikúrfan er flöt og er nýtnin gjarnan yfir 80% niður undir 25% álag. Eftir því sem bunustútarnir verða fleiri því flatari verður nýtnikúrfan. Vænta má hámarksnýtni á bilinu 83-87% fyrir litla hverfla. Hentar vel við breytilegt álag eða rennsli.
- **Francis:** Hefur háa hámarksnýtni en nýtnin fellur nokkuð hratt við hlutaálag. Þetta er þó mismunandi eftir eðlishraða, en vélar með lægri eðlishraða halda nýtninni nokkru betur við hlutaálag. Almennt er ekki raunhæft að keyra við álag undir 40% vegna titrings, sem verður þegar leiðiskóflurnar loka og beina vatninu ekki í bestu stefnu að vatnshjólinu. Í stórum Francis hverflum má vænta hámarksnýtni upp undir 93%, en í litlum hverflum má vænta nýtni á bilinu 87-91%.
- **Kaplan:** Nýtnikúrfan fyrir Kaplan hverfla, sem eru með stillanlegum skurði hjólblaða og með stillanlegum leiðiskóflum, er flöt og gjarnan yfir 80% niður undir 30% álag.

Vænta má hámarksnýtni á bilinu 86-90% fyrir litla hverfla. Hentar vel við breytilegt álag eða rennsli, en einnig við breytilega hæð.

- **Skrúfuhverfill:** Skrúfuhverfill, sem er með föstum hjólblöðum en stillanlegum leiðiskóflum hefur háa hámarksnýtni en nýtnin fellur hratt við hlutaálag. Þetta er þó mismunandi eftir eðlishraða, en vélar með lægri eðlishraða halda nýtninni nokkru betur við hlutaálag. Vænta má hámarksnýtni á bilinu 86-90% fyrir litla hverfla.
- **Cross Flow:** Nýtnikúrfan er flöt og er nýtnin nálægt hámarksnýtni niður undir 15% álag. Hámarksnýtnin er hins vegar lægri en fyrir hverfla af hefðbundinni gerð. Vænta má hámarksnýtni á bilinu 80-84% fyrir litla hverfla. Hentar vel við breytilegt álag eða breytilegt rennsli.

Nýtni rafala er breytileg eftir stærð, gerð og álagi, en einnig hefur svokallaður aflstuðull (sjá kafla 6.5) áhrif á nýtnina. Hærri aflstuðull leiðir til hærri nýtni. Almennt er nýtni ósamfasa rafala um 2-4% lægri en nýtni samfasa rafala.[16] Nýtnikúrfa rafala er almennt nokkuð flöt á bilinu frá fullu álagi og niður undir 50% álag en dalar nokkuð eftir það. Miðað við aflstuðul 0,8, má vænta þess að hámarksnýtni lítilla rafala sé á bilinu 95-96% og að við 25% álag sé nýtnin komin í 92-93%.

Nýtni gírbúnaðar á milli hverfils og rafala er breytileg eftir gerð. Best er ef hægt er að beintengja rafalann við hverfilinn. Nýtni gíra ætti ekki að vera undir 98-99%.

Þegar um er að ræða stærri vatnsorkuver eru framleiðendur vél- og rafbúnaðar beðnir að gefa upplýsingar um nýtni og afköst, sem þeir ábyrgjast að náist, miðað við gefnar forsendur. Síðan er mælt hvort uppgefin nýtni og afköst standast. Við byggingu minni vatnsvirkjana er allur gangur á þessu. Þó að mismunandi hverflar eigi að geta skilað ákveðinni nýtni, þá er það endanleg hönnun og smíði í hverju tilviki sem ræður hver nýtnin er. Því er mikilvægt að framleiðandi ábyrgist þær tölur um nýtni og afköst sem hann setur í tilboð og að kannað sé í lokin hvort þær standast.

6.4 Lokar og lokur

Lokar gegna mikilvægu hlutverki í virkjunum. Í hverri vatnsvirkjun eru lokar af ýmsum gerðum og stærðum. Stærstu og mikilvægustu lokarnir eru á þrýstipípunni. Ef þrýstipípan er í lengri kantinum getur verið gott að hafa loka við báða enda. Helsta hlutverk þeirra er eftirfarandi:

- Loki við efri enda þrýstipípu: Hlutverk hans er aðallega að loka þrýstipípunni ef það þarf að yfirfara hana eða gera við. Einnig er í sumum tilvikum búnaður tengdur þessum loka sem lokar honum ef streymið í þrýstipípunni verður meira en eðlilegt er, sem gæti bent til þess að rörið væri brotið. Þetta er gert til að koma í veg fyrir tjón vegna vatnsflóðs. Yfirleitt er þá lokinn þannig gerður að hann lokast sjálfvirkt eða fjarstýrt, með lóði, en er opnaður með utanaðkomandi afli.
- Loki við hverfilinn: Með honum er hægt að loka þrýstipípunni ef yfirfara þarf hverfilinn eða gera við, án þess að tæma þrýstipípuna.

Lokar eru ýmist drifnir með utanaðkomandi afli eða handvirkir. Stærri lokar sem oft þarf að hreyfa eru gjarna drifnir með utanaðkomandi afli, t.d. með mótor eða vökvatjakki.

Til eru margar gerðir loka en algengastir eru spjaldlokar og kúlulokar. Spjaldlokinn er léttbyggðari og ódýrari, en þrýstifall yfir hann er meira. Kúlulokinn er þungbyggðari og er frekar notaður við hærri þrýsting.

[16] Penche, Celso 1998, bls. 186

Í sumum tilvikum eru notaðar sérhannaðar lokur í stað loka. Þetta getur hentað ef rennslið er mikið, t.d. yfirfallslokur við inntak. Við minni virkjanir getur verið um plankalokur að ræða. Einnig getur verið gott að hafa möguleika á að setja hleraloku í inntaksopið í stað inntaksrista, til dæmis ef gera þarf við inntakslokann.

6.5 Rafbúnaður

6.5.1 Rafkerfi, almennt

Rafkerfi eru mismunandi á milli landa. Í Evrópu, og þar með á Íslandi, er almenn notenda-spenna 230 volt og 50 rið. Lágspennukerfi rafveitna eru að jafnaði rekin með þrífasa rið-straumi. Þessi kerfi eru oftast skráð sem 3/N~400/230 V, 50Hz. Slík kerfi eru oft kölluð fjögurra víra kerfi þ.e. L1, L2, L3 og N. Almennar heimtaugar í hús eru oftast einfasa þ.e. einn fasi og N. Til sveita er algengt að notuð séu einfasa flutningskerfi þ.e. einn háspenntur vír á móti jörð. Á tengistað er svo spennir þar sem spennunni er breytt í tveggja fasa 230V fyrir notandann. Þessi kerfi eru oftast skráð sem 2/N~460/230 V, 50Hz. Slík kerfi eru oft kölluð þriggja víra kerfi þ.e. L1, L2 og N.

Við flutning á raforku á milli svæða er notuð hærri spenna og ræðst hún af orkumagninu sem flytja skal ásamt flutningsvegalengdinni. Algeng spenna við flutning innan afmarkaðra svæða er 11000 og 19000 volt eða 11 kV og 19 kV. Fyrr á árum voru 6 kV kerfi oft notuð en eru nánast aflögð og hafa 11 kV tekið við. Nokkur slík kerfi er þó enn að finna í dreifikerfum einstaka bæjarfélaga.

Á milli svæða er almennt notast við hærri spennu svo sem 33 kV, 66 kV eða 132 kV. Hæsta spenna sem notuð er til orkuflutninga á Íslandi er 220 kV.

6.5.2 Helstu hugtök raffræðinnar

Oft vilja grunnhugtök rafmagnsfræðinnar ruglast á meðal leikmanna. Á þetta t.d. við um muninn á afli og orku en ekki síst sýndarafli, launafli og aflstuðli. Hægt er að líkja mörgum þessum hugtökum við mun áþreifanlegri fyrirbæri svo sem rennsli vatns í pípu og verður það gert hér til glöggvunar fyrir hinn almenna lesenda. Ekki er þó hægt á að nýta þá samlíkingu til útskýringar á sýndarafli, launafli og aflstuðli en þess í stað reynt að skýra samhengið með mynd 6.17 þar sem drengur dregur dráttarvélina sína eftir götunni.

Spenna: Spenna hefur eininguna volt [V] og einkennið "U". Líkja má því við þrýsting í vatnspípu.

Straumur: Straumur hefur eininguna amper [A] og einkennið "I". Líkja má því við streymi í pípu.

Viðnám: Rafmagnsviðnám hefur eininguna ohm [Ω] og einkennið "R". Líkja má því við núningsviðnám í pípu sem veldur þrýstifalli.

Raunafl: Raunafl hefur eininguna watt [W] og einkennið "P". Líkja má því við magnið sem streymir úr pípunni á tímaeiningu s.s. lítrar á sekúndu.

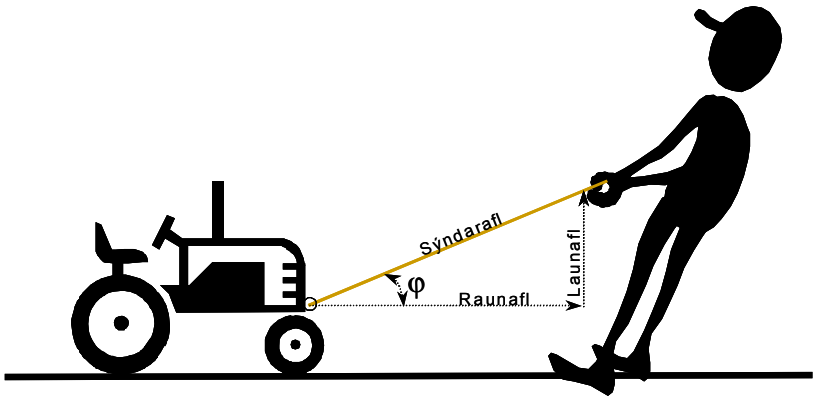
Sýndaraf: Sýndarafl hefur eininguna voltamper [VA] og einkennið "S". Sjá mynd 6.17.

Launafl: Launafl hefur eininguna voltamper [VAr] og einkennið "Q". Sjá mynd 6.17.

Aflstuðull: Aflstuðull sem oft er kallaður cos(φ) eða PF og er án einingar. Sjá mynd 6.17.

Orka: Orka er afl eða raunafl sinnum tími og mælist t.d. í wattstundum [Wh] og hefur einkennið "E". Algengast er að nota eininguna kílówattstundir eða [kWh]. Líkja má því við það magn sem fæst úr pípu á einni klukkustund.

Tíðni: Tíðni hefur eininguna Hertz [Hz] og einkennið “f”. Tíðnin (rið) segir til um þann fjölda spennusveiflna sem endurtaka sig á einni sekúndu. Sjá myndir 6.21 og 6.22.

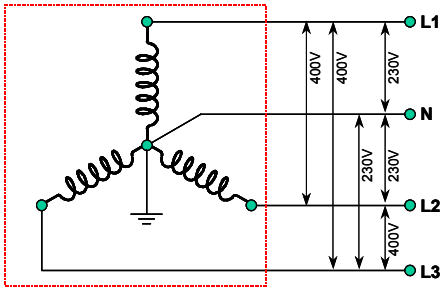


Mynd 6.17 Aflstuðullinn

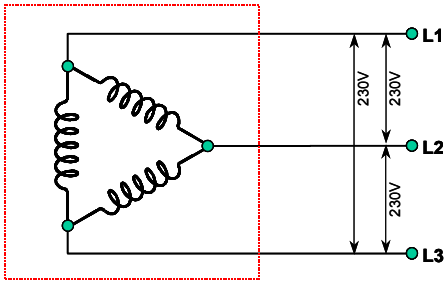
Á mynd 6.17 má sjá dreng draga dráttarvélina sína eftir götunni og virðist hann puða heilmikið. Þar sem drengurinn er töluvert hærri en dráttarvélin nær hann ekki samsíða átaki við flötinn sem dregið er eftir. Ef við hugsum okkur að drengurinn samsvari rafala og dráttarvélin samsvari álagi rafalans sést að það afl sem rafalinn þarf að skila er meira en það afl sem dregur álagið. Hlutfallið á milli þessara afla, sem við getum kallað raunafl og sýndarafl, er kallað aflstuðull, cos(φ) eða PF (Power factor). Þetta segir okkur, að því minni sem aflstuðullinn er, kallar það á stærri rafala til að framleiða það raunafl sem óskað er eftir. Oft er miðað við cos(φ)=0.8 þegar stærð rafala er valin.

6.5.3 Munurinn á einfasa og þrífasa rafkerfum

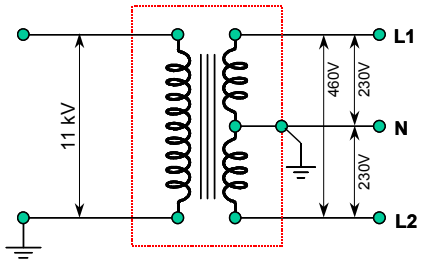
Munurinn á þrífasa og einfasa rafkerfi er mikill og á það aðallega við flutningsgetu slíkra kerfa og svo framboð á búnaði fyrir þau. Á Íslandi er algengt að notað sé einfasa rafkerfi. Þar sem vegalengd er mikil og fáir eða litlir notendur er oft notast við einfasa flutningskerfi. Þetta á sérstaklega við rafvæðingu sveitanna. Einfasa flutningskerfi er mun ódýrara í stofnkostnaði en þrífasa kerfi. Oft er óhentugt fyrir t.d. bændur að hafa ekki þrífasa rafkerfi, vegna þess að staðlaður búnaður fyrir bændur, sem í boði er, er oftast þrífasa. Þetta kallar á sérlausnir sem oftast eru dýrari. Á þetta einnig við um rafala fyrir litlar virkjanir en þó ekki við þær allra minnstu. Stærri virkjanir eru alltaf þrífasa.



Mynd 6.18 Þrífasa rafkerfi 3/N~400/230 V

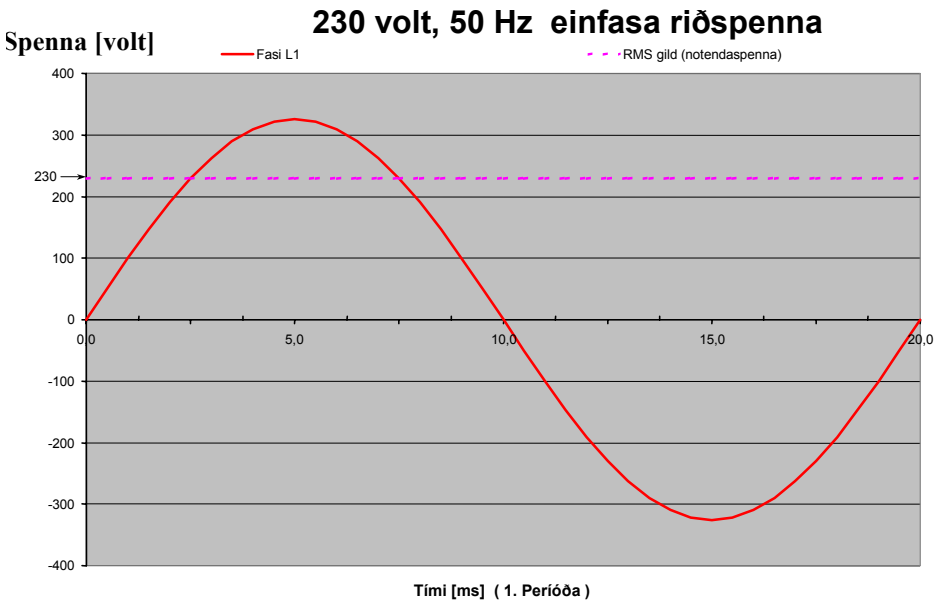


Mynd 6.19 Þrífasa rafkerfi 3/230 V

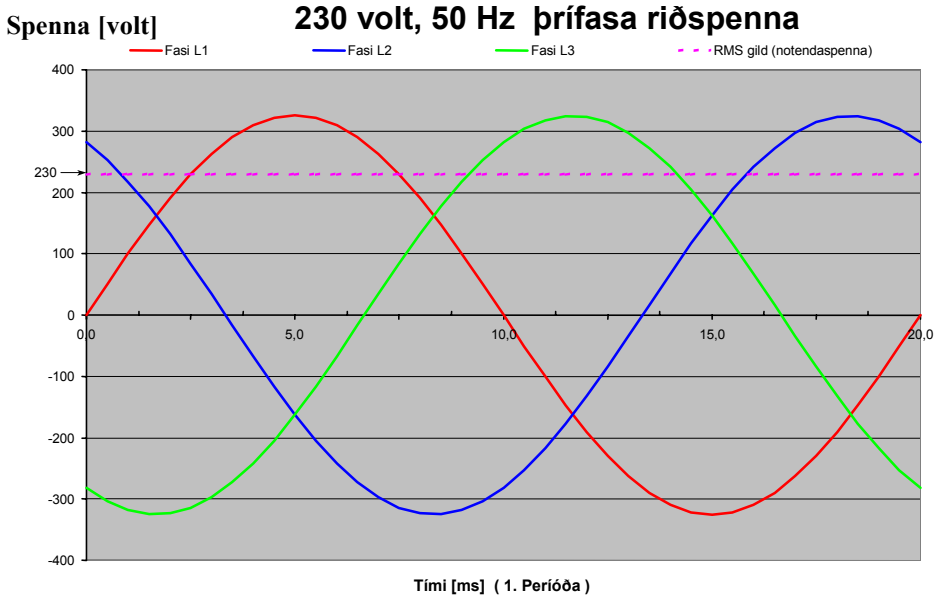


Mynd 6.20 Tvífasa rafkerfi 2/N~460/230 V

Myndir 6.18, 6.19 og 6.20 sýna dæmi um tengingar, sjá nánar í Orðsendingu RER nr. 5/91



Mynd 6.21 Einfasa riðspenna

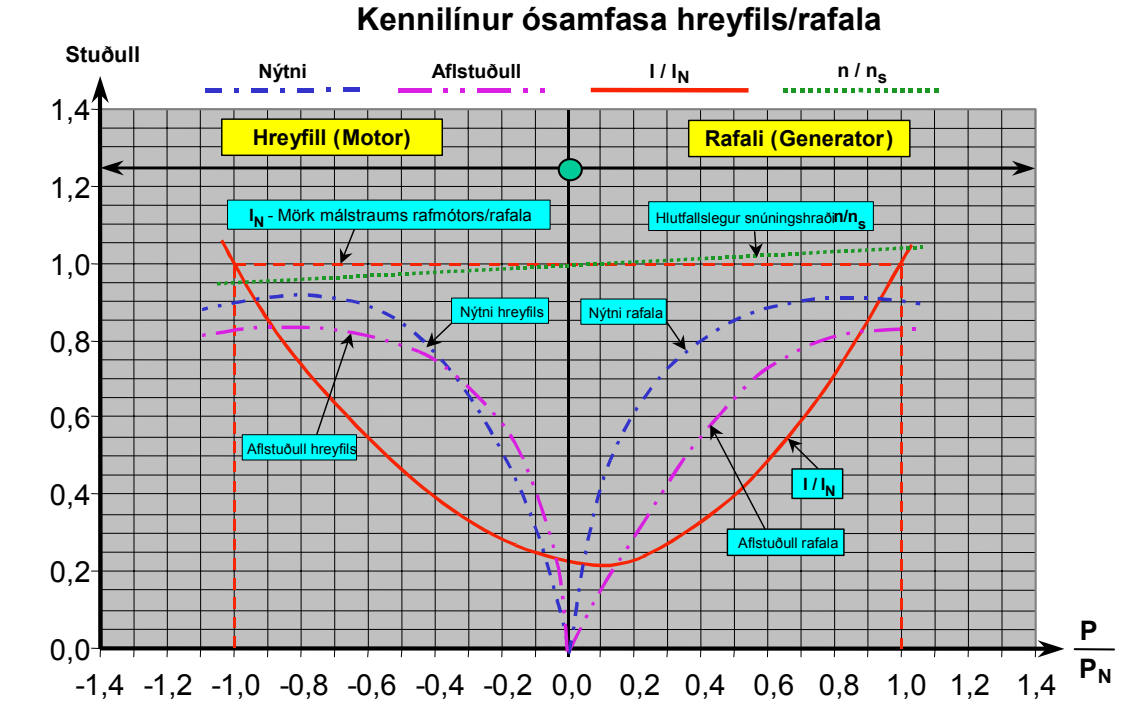


Mynd 6.22 Þrífasa riðspenna

6.5.4 Rafalinn

Rafalinn er það tæki sem breytir snúningsorku hverfilsins í raforku. Rafalar geta verið af ýmsum gerðum en hér er aðeins lýst stuttlega þeim rafölum sem henta okkar rafmagnskerfi. Slíkir rafalar kallast riðstraumsrafalar og skiptast í tvo flokka þ.e. samfasa (synchron) rafala og ósamfasa (asynchron) rafala. Rafali samanstendur í megindráttum af tveimur megin grunn-þáttum, þ.e. sátri (stator) og snúð (rotor).

- **Samfasa rafali:** Samfasa rafalar eru þeir rafalar sem algengastir eru í virkjunum. Slíkur rafali samanstendur af þremur þáttum þ.e. grunnþáttunum sátri (stator)og snúð (rotor) og síðan segulmögnunarbúnaði (exciter). Með segulmögnunarbúnaðinum er spennu og aflstuðli stýrt. Búnaðurinn er aðallega tvenns konar og í tveimur útfærslum þ.e. með eða án sleituhringja og svo annars vegar með auka jafnstraumsrafala áföstum ás rafalans eða rafbúnaður sem tengdur er utanaðkomandi aflgjöfum svo sem rafhlöðum. Einnig eru til samfasa rafalar með svokallaðri eigin segulmögnun. Þeir eru mun einfaldari að gerð en þeir sem nefndir eru hér að ofan og um leið ódýrari. Slíkir rafalar henta mjög vel fyrir litlar rafstöðvar (10 til 50 kW) sem ekki eru tengdar öðrum rafkerfum. Mynd 6.24 og mynd 6.25 sýna útlit og tengingu slíks rafala. Samfasa rafali er nauðsynlegur ef reka á virkjun sjálfstætt þ.e. ótengt dreifikerfi rafveitunnar.
- **Ósamfasa rafali:** Ósamfasa rafali er mun einfaldari að allri gerð en samfasa rafali og um leið mun ódýrari. Hann er ófær um að framleiða rafmagn einn og sér og verður að vera tengdur dreifikerfinu til segulmögnunar. Ósamfasa rafali getur einungis framleitt raunafl inn á dreifikerfið en tekur frá dreifikerfinu launafl til segulmögnunar. Þetta launafl þarf rafveitan að útvega frá öðrum raforkuframleiðendum og af þeim sökum fæst lægra gjald fyrir orkueininguna frá ósamfasa rafala en frá samfasa rafala eða um 5%. Auk þess þarf virkjunareigandi að greiða sérstaklega fyrir það launafl sem virkjunin þarf til segulmögnunar. Ósamfasa rafali hefur örlítið lægri nýtni en samfasa rafali eða um 2 til 4% en nýtnin er breytilegt eftir álagi. Ósamfasa rafali er í megindráttum eins uppbyggður og venjulegur skammhlaupsmótor sem er sá mótor sem langmest er notaður í heiminum. Slíkan mótor má einfaldlega nota sem rafala. Ósamfasa rafalar er hagkvæmasti kosturinn ef tengja á virkjunina dreifikerfinu.



Mynd 6.23 Kennilínur ósamfasa hreyfils/rafals

6.5.5 Snúningshraði rafala

Snúningshraði rafalans er bundin þeirri tíðni sem óskað er eftir ásamt uppbyggingu rafalans. Riðstraumsrafalar eru framleiddir með mismunandi pólparafjölda. Sambandið á milli snúningshraða, pólparafjölda og tíðni er:

$$n = \frac{t}{p} \times 60$$

n er snúningshraðinn í snúningum á mínútu (sn/mín)
t er tíðnin (Hz)
p er pólparafjöldi rafalans

Dæmi 1: Ef rafali er 2ja póla (1 pólpar) og óskað er eftir 50 Hz, þarf snúningur rafalans að vera:

$$n = \frac{t}{p} \times 60 \quad = \quad \frac{50}{1} \times 60 \;=\; 3000 \text{ snúningar á mínútu}$$

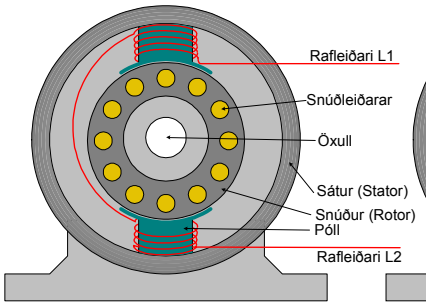
Fyrir venjulegar litlar virkjanir er snúningshraði rafala oftast mun minni en 3000 snúningar á mínútu en það ræðst að mestu af gerð hverfils. Þar sem tíðnin er fastákveðin, verður að velja rafala með pólparafjölda sem passar hverflinum sem búið er að velja. Sem dæmi, ef hverfillinn sem valinn er snýst 750 snúninga á mínútu, þarf pólparafjöldi rafalans að vera:

$$n = \frac{t}{p} \times 60 \;\Rightarrow\; p = \frac{t}{n} \times 60 \;=\; \frac{50}{750} \times 60 = 4 \text{ pólpör}$$

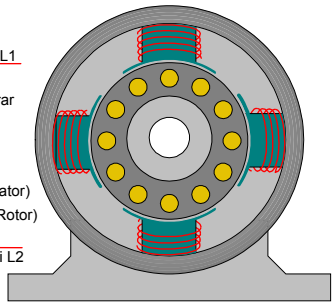
Í þessu tilfelli passar fjögurra pólpara rafali beint á hverfilinn og því hægt að tengja öxul hans beint á öxul rafalans, sem er ákjósanlegast. Nú er það ekki alltaf þannig að snúningshraði hverfilsins passi nákvæmlega við þann snúningshraða sem pólparafjöldi rafala ákveður. Í þeim tilfellum er nauðsynlegt að tengja rafalann og hverfilinn saman t.d. með reim og reimskífum af mismunandi stærðum eða passandi gírkassa. Þetta á þó frekar við minni vatnsaflsvirkjanir. Stórir rafalar eru nánast alltaf beintengdir við hverfilinn og fæst með því besta nýtnin í kerfinu. Snúningshraðinn sem hér um ræðir er miðaður við samfasa rafala. Ósamfasa rafali mun þurfa örlítið meiri snúning en samfasa rafali eða um eða rétt yfir 1% við fullt álag rafalans.

Tafla 6.1 Staðlaður samfasa snúningshraði mótora/rafala við 50 Hz

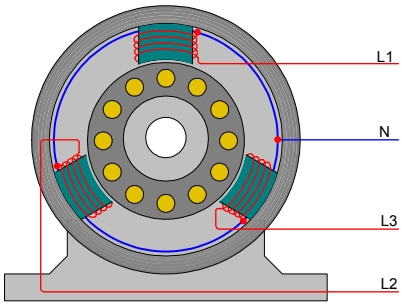
Fjöldi póla =	2	4	6	8	10	12	16	20	24
Fjöldi pólpara =	1	2	3	4	5	6	8	10	12
Samfasa snúningshraði =	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	240



Mynd 6.24 Þversnið af einfasa rafala með einu pólpari



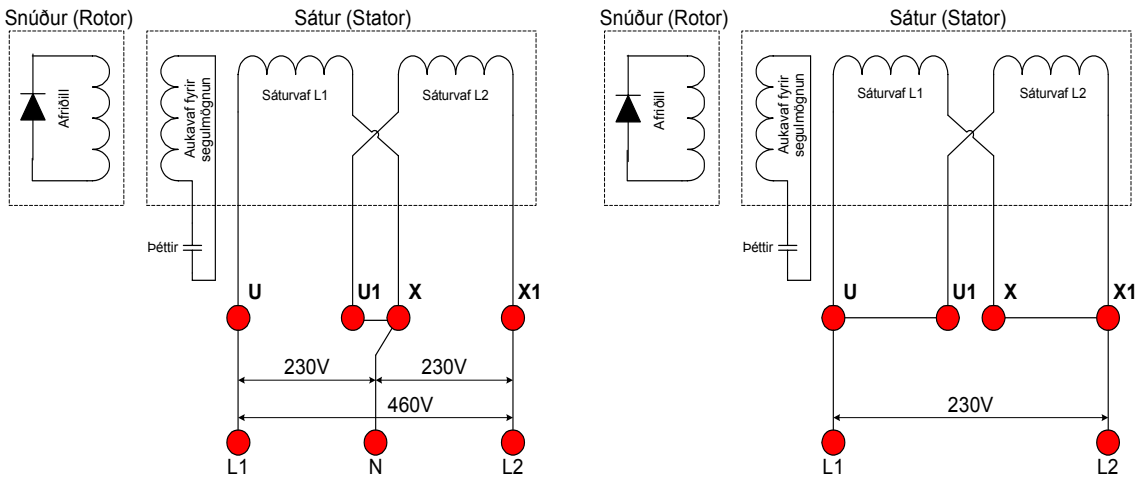
Mynd 6.25 Þversnið af einfasa rafala með tveimur pólpörum



Mynd 6.26 Þversnið af þrífasa rafala með einu pólpari

Mynd 6.27 Dæmigerður samfasa rafali með sjálfsegulmögnun

Rafalinn á mynd 6.27 er dæmigerður rafali með sjálfsegulmögnunarbúnaði. Slíkur rafali er ákjósanlegur fyrir þá sem ætla að virkja bæjarlækinn til eigin nota og hyggjast ekki tengjast raforkunetinu.



2/N~460/230 V kerfi **1/N~230 V kerfi**

Mynd 6.28 Tengimöguleikar einfasa/tvífasa samfasa rafala með sjálfsegulmögnun

VGK 2003

7 RÁÐSTÖFUN ORKU

Virkjun vatnsafls getur verið drifkraftur góðra verka. Hluti að undirbúningi virkjunar er að kanna hvernig hægt er að nota raforkuna. Áður en lagt er út í kostnað við rannsóknir og hönnun þarf því að liggja fyrir hvernig raforkunni verður ráðstafað. Jafnframt er mikilvægt að fyrir liggi með nokkurri vissu hvaða verð fæst fyrir raforkuna og hvaða kröfur eru gerðar til afhendingaröryggis. Nýtingartíminn ræður miklu um það hvort virkjun er hagkvæm, en nýtingartíminn segir til um það hversu vel afköst virkjunarinnar nýtast yfir árið. Nýtingartíminn er sá tími sem það tæki að framleiða þá orku sem svarar til árssölunnar, ef framleitt væri á fullum afköstum.

Í núverandi lagaumhverfi hafa rafveiturnar einkarétt til dreifingar og sölu raforku á sínum svæðum. Með væntanlegum raforkulögum er gert ráð fyrir að þetta breytist og framleiðsla og sala raforku verði gefin frjáls. Einkaréttur verður áfram á flutningi og dreifingu. Rafmagnsveitur ríkisins hafa sett fram stefnu sína í viðskiptum við smávirkjanir, sjá viðauka 1. Þar kemur fram að í núverandi lagaumhverfi hafa smávirkjanir getað selt alla framleiðslu sína samkvæmt samningi þar sem aðstæður leyfa.

7.1 Ráðstöfun raforku

Ráðstafa má raforku frá litlum virkjunum á ýmsa vegu, og eru hér nefnd nokkur dæmi:

- **Eigin notkun:** Á fyrri hluta síðustu aldar, sem segja má að hafi verið blómaskeið smávirkjana á Íslandi, var raforka frá smávirkjunum svo til eingöngu notuð til eigin þarfa, svo sem til lýsingar, hitunar og á vélar. Nú hefur vélvæðing við búrekstur aukist og því er orkuþörf meðalbúa allnokkur. Þó er ljóst að virkjanir sem eingöngu miðast við eigin notkun verða að jafnaði ekki stærri en 10-30 kW.
- **Til almenningsveitna:** Mögulegt er að semja við rafveiturnar um að selja raforkuna inn á dreifikerfi þeirra. Ef það er ætlunin, er nauðsynlegt að hafa samráð við viðkomandi rafveitu strax við frumhönnun virkjunarinnar. Rafmagnsveitur ríkisins hafa mótað sér stefnu í viðskiptum við smávirkjanir, sjá viðauka 1. Rafmagnsveitur ríkisins kaupa orku af virkjunum, sem eru minni en 300 kW, þar sem fyrir hendi er þriggja fasa dreifikerfi með nægilega flutningsgetu. Í núverandi lagaumhverfi miðast verð raforku inn á dreifikerfið við gjaldskrá Landsvirkjunar, sem er leiðandi orkuverð á markaði í dag, en einnig er tekið tillit til afhendingaröryggis. Greitt er fyrir áskriftaraflgjald, vetrarorkugjald, sumarorkugjald ,og gjald fyrir ótryggða orku. Ef seljandi nær ekki að skila umsaminni orku greiðir hann svokallað skortorkugjald, sem nemur framleiðslukostnaði rafmagns með dísilvélum. Í viðauka 2 eru sýnd dæmi um samninga við Rafmagnsveitur ríkisins.
- **Nýir notendur:** Ef tekst að stofna til atvinnustarfsemi sem nýtir raforku, samhliða virkjun vatnsafls skapast ný atvinnutækifæri. Ekki er þá um að ræða samkeppni um orkunotendur sem fyrir eru á raforkumarkaðinum. Í slíkum tilvikum gæti hagkvæm lítil virkjun verið samkeppnisfær við stóra virkjun í mikilli fjarlægð vegna þess að flutningur raforku er dýr. Slík starfsemi gæti verið tengd ferðaþjónustu eða ýmis konar smáiðnaður. Sem dæmi um smáiðnað mætti nefna gróðurhús, málmsteypur, plastvinnslu og fiskvinnslu. Sums staðar hagar þannig til að nærri mögulegum virkjunarstað eru raforkunotendur sem ekki eru tengdir dreifikerfinu eða að dreifikerfið sem fyrir er annar ekki viðbótarorkuþörf á svæðinu. Í slíkum tilvikum getur verið hagkvæmara að setja upp litla virkjun en að styrkja dreifikerfið. Val um slíkt er þá í höndum rafveitunnar á viðkomandi svæði.

Einnig getur komið til greina að ráðstafa raforkunni með blöndu af ofangreindum aðferðum, ef samkomulag næst um það við viðkomandi rafveitu.

Með nýju orkulögunum eykst frjálsræði í sölu raforku á almennum markaði. Orkuverð og orkukaup munu þá ráðast meira af markaðsaðstæðum á hverjum tíma, þar sem orkuverði verður skipt upp í framleiðslu og flutning, en jafnframt þarf að taka tillit til tengigjalda.

Vakin er athygli á því að hægt er að nota vatnsafl til að framleiða heitt vatn beint, án þess að búa til rafmagn fyrst. Það er gert með því að láta hverfilinn knýja svokallaða vatnsbremsu. Í vatnsbremsu hitnar vatnið vegna viðnámskrafta í bremsunni, sem heldur aftur af hverflinum. Kerfi af þessu tagi er einfaldara með tilliti til stýringa og öryggismála en rafali og tilheyrandi rafbúnaður. Slík kerfi geta verið hagkvæm sem hitaveita einstakra bæja eða stærri þyrpinga, þar sem ekki nýtur ódýrrar jarðvarmaveitu.

7.2 Tenging við dreifikerfið

Ef fyrirhugað er að samtengja virkjunina dreifikerfi rafveitu er brýnt að kynna sér reglur viðkomandi rafveitu um slíka tengingu strax í upphafi. Nauðsynlegt er að setja sig í samband við fulltrúa viðkomandi rafveitu og kynna hugmyndina. Rafveitan mun síðan láta í té upplýsingar um lágmarkskröfur til búnaðar og kröfur til tengingar við dreifikerfið. Meginreglan er að virkjanir minni en 50 kW skuli vera með ósamfasa rafala. Virkjanir á bilinu 50 til 100 kW geta verið hvort sem er samfasa eða ósamfasa en virkjanir stærri en 100 kW skulu vera með samfasa rafala. Þessi mörk geta þó verið háð aðstæðum á hverjum stað.

Rafveitan mun einnig upplýsa um hvar næsti mögulegi tengistaður við dreifikerfið er og hvort kerfið sé nægilega sterkt til að tengja við það virkjun af þeirri stærð sem um er að ræða án þess að það valdi skerðingu á gæðum raforkunnar til hins almenna notenda. Einnig er nauðsynlegt að búið sé að semja við viðkomandi rafveitu um verð á raforku afhentri inn á dreifikerfið, afhendingaröryggi, gæði rafmagnsins og um þann kostnað sem fellur á framkvæmdaraðila við að tengja kerfið rafveitunni, áður en framkvæmdir hefjast. Rafveitan mun gera áætlun um kostnað tengingarinnar við dreifikerfið og gera bindandi tilboð, en til að það sé hægt, þarf að liggja fyrir ákvörðun um stærð virkjunarinnar, staðsetningu og spennu frá rafala. Rafveitan mun síðan á framkvæmdastigi sjá alfarið um þessa tengingu og tengja virkjunina við dreifikerfið frá afhendingarstað virkjunarinnar, sjá myndir 7.1 og 7.2. Rafveitan mun viðhalda og reka allan búnað tengingarinnar, utan afhendingarstaðar, s.s. spenna, rofa, streng og annan nauðsynlegan búnað við tenginguna ásamt þeim mælabúnað sem rafveitan leggur til við orkumælinguna að og frá virkjuninni.

Fjarlægð virkjunarinnar frá næsta tengistað rafveitunnar skiptir verulegu fjárhagslegu máli. Ef virkjunin er í töluverðri fjarlægð frá næsta lágspenntum tengistað (230/400V), verður rafveitan að meta það hvort lágspenntur flutningur raforkunnar frá virkjuninni að tengistaðnum sé mögulegur eða hvort nauðsynlegt sé að nota hærri spennu til flutningsins svo sem 11 kV, sem algengast er. Slíkt getur haft verulegan kostnað í för með sér og er því nauðsynlegt við útreikninga á arðsemi virkjunarinnar að þessi kostnaður liggi fyrir frá rafveitunni og sé tekinn með.

Til að fullnægja lögum nr. 146/1996 um öryggi raforkuvirkja, neysluveitna og raffanga ásamt reglugerð um raforkuvirki nr. 264/1971, með áorðnum breytingum, um ábyrgðarmann raforkuvirkja hvað varðar framkvæmdir, rekstur, eftirlit og viðhald virkjunar er nauðsynlegt fyrir væntanlegan virkjunaraðila að setja sig í samband við aðila sem hefur réttindi til að takast á hendur slíka ábyrgð. Upplýsingar um lög og reglugerðir fyrir ábyrgðarmenn raforkuvirkja má

finna á heimasíðu Löggildingarstofu www.ls.is. Ekki er heimilt að tengja virkjunina við dreifikerfið fyrr en staðfesting Löggildingarstofu liggur fyrir.

Þegar ákvörðun um fyrirhugaða virkjun hefur verið tekin og tilboð framleiðenda liggja fyrir, skal ganga úr skugga um að rafalinn, allur búnaður hans og varnarbúnaður, tíðnistýringin og samfösunarbúnaður uppfylli kröfur rafveitunnar og Löggildingarstofu um slíkan búnað. Ekki er ráðlegt að staðfesta pöntun búnaðarins fyrr en samþykki rafveitunnar liggur fyrir.

Í engu tilfelli má virkjunin vera þannig úr garði gerð að hún geti framleitt raforku inn á dreifikerfi rafveitunnar ef spenna á netinu fellur út. Í einhverjum tilfellum getur rafveitan óskað eftir því að möguleiki sé fyrir hendi að reka virkjunina áfram inn á netið fyrir afmarkað svæði í þeim tilfellum að rafmagn frá öðrum virkjunum fellur út. Þetta á eingöngu við virkjanir með samfasa rafala og verður að semja sérstaklega við rafveituna um slíkt í hverju tilfelli fyrir sig.

Þar sem um er að ræða samfasa rafala og sölu orku til rafveitunnar, er gert ráð fyrir að eigin notkun virkjunareiganda sé tekin frá dreifiskáp rafveitu, sjá mynd 7.1. Helstu ástæður fyrir því eru eftirfarandi:

- Tæknilega er þetta einfaldara en að hafa sérstakan rofa og streng frá virkjun fyrir heimanotkun. Ef dreifikerfið dettur út er hæpið að stærri virkjanirnar (> 100 kW) nái að keyra á svo lágu álagi sem heimanotkunin er. Auk þess er afhendingaröryggi meira með því að tengjast rafveitunni.
- Fjárhagslega er þetta væntanlega hagstæðara, vegna þess að rafveitan gerir kröfu um ákveðið markafl, sem lækkar ef eigin notkun er tekin sér, sem nemur mestu eigin notkun. Frátekið afl til eigin notkunar er því með lágan nýtingartíma sem þýðir að raforkan til eigin nota verður dýr, sjá dæmi í töflu 11.3. Því er talið vænlegra að semja frekar við rafveituna um afslátt á raforku frá dreifiskáp.

Fyrir virkjanir með ósamfasa rafala, sem byggðar eru með sölu til rafveitu fyrir augum, gilda sömu rök. Hins vegar gegnir öðru máli um minnstu virkjanirnar, sem eru eingöngu ætlaðar til heimanotkunar. Þó er jafnvel hugsanlegt að í því tilviki sé einnig hagstæðara að semja við rafveituna um afslátt og selja henni í staðinn fullt markafl með háum nýtingartíma.

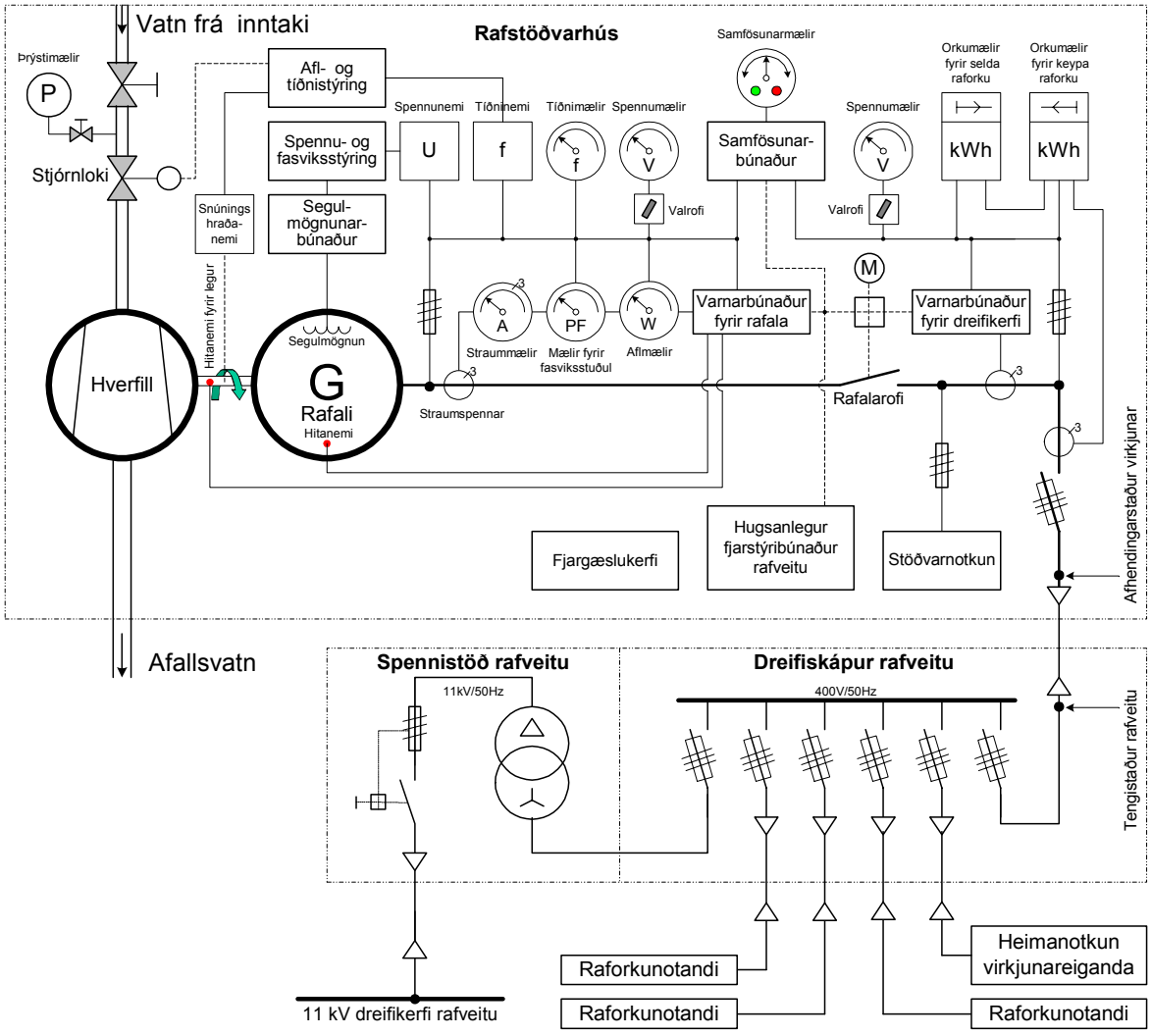
7.2.1 Varnarbúnaður

Vandaður varnarbúnaður er mjög nauðsynlegur fyrir rafala og búnað honum tengdum. Slíkan búnað þarf að yfirfara og prófa reglulega og skal það m.a. gert samkvæmt verklagsreglum Löggildingarstofu þar sem það á við. Slíkur búnaður er m.a. yfirálagsvarnir rafala, undir- og yfirspennuvarnir, undir- og yfirtíðnivarnir, samfösunarbúnaður og annar sá búnaður sem nauðsynlegur er til að tryggja gæði raforkunnar sem afhent er inn á dreifikerfið.

Fyrir stærri virkjanir getur verið mikilvægt að vera með sérstakt vaktkerfi sem fylgst getur t.d. með hita í rafala, legum og stöðvarhúsi, vatnsleka í stöðvarhúsi, truflunum á vatnsrennsli til hverfils og öðrum þeim þáttum sem truflað gætu rekstur virkjunarinnar. Slíkt kerfi getur gefið rekstraraðila viðvörun tímanlega, ef eitthvað er óeðlilegt áður en útleysing frá varnarbúnaði virkjunarinnar á sér stað. Kerfið getur komið í veg fyrir skemmdir á virkjuninni og kostnað vegna rekstrarstöðvunar. Þetta á sérstaklega við þar sem virkjunareigandi hefur gert samning við rafveitu um framleiðslu á fast ákveðnu afli inn á dreifikerfið. Slíkir samningar innihalda refsiákvæði við brottfalli framleiðslunnar inn á kerfið eða ef afhent afl er lægra en samið hefur verið um.

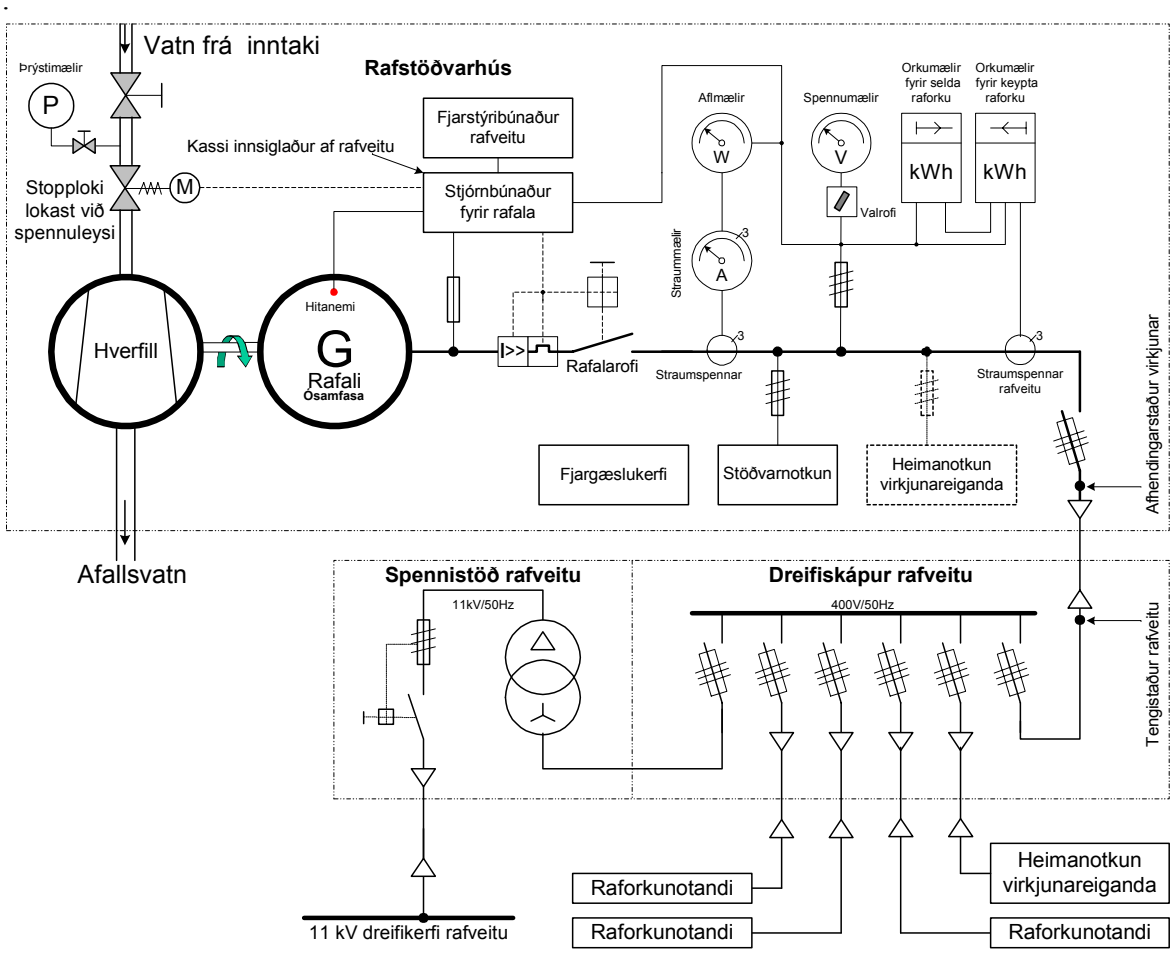
Fyrir þær virkjanir sem tengdar eru dreifikerfinu, eru gerðar kröfur til eigenda að setja upp og viðhalda varnarbúnaði sem ver aðra rafmagnsnotendur sem tengdir eru dreifikerfinu. Varnarbúnaðurinn á að koma í veg fyrir að spennan og tíðnin frá virkjuninni geti á nokkurn hátt farið

út fyrir sett mörk sem rafveitan ákveður og byggir á Evrópu stöðlum. Slík mörk eru einnig háð staðsetningu virkjunarinnar og tengistað. Skoða þarf hvert tilvik fyrir sig en mörkin ráðast af þeirri meginreglu að spenna á afhendingarstað rafveitu skuli ekki verða hærri en 6% yfir málspennu og ekki lægri en 10% af málspennu (±10% eftir árið 2003). Eftir að búnaðurinn hefur verið stilltur og prófaður í samráði við viðkomandi rafveitu er hann innsiglaður og verður stillingum hans eingöngu breytt í samráði við rafveituna og með hennar samþykki.



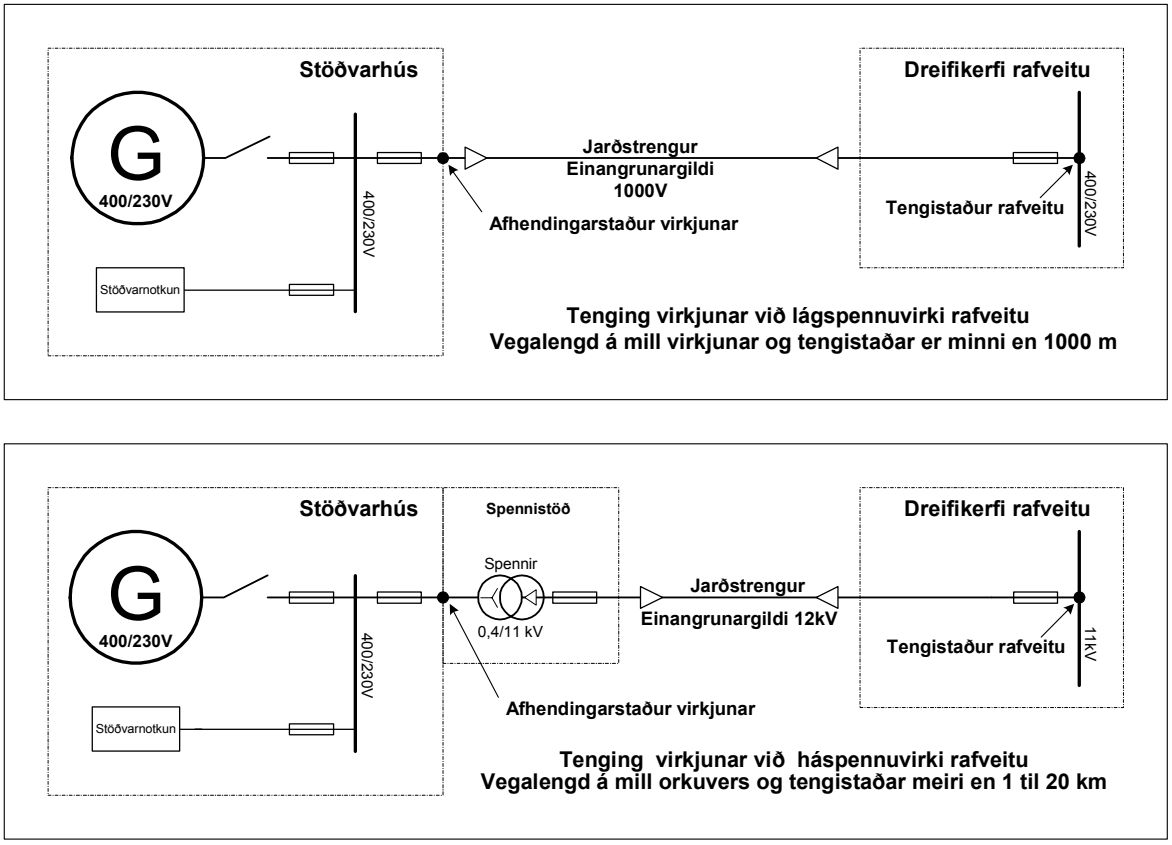
Mynd 7.1 Kerfismynd af dæmigerðri virkjun með samfasa rafala tengdum við raforkudreifikerfi

Um annan nauðsynlegan varnarbúnað vísast í reglugerð nr. 264/1971 um raforkuvirki, með áorðnum breytingum, sem hægt er að nálgast á heimasíðu Löggildingarstofu www.ls.is, svo og "Tæknilega tengiskilmála raforkudreifingar, TTS", sem hægt er að nálgast á heimasíðu Samorku, www.samorka.is".



Mynd 7.2 Kerfismynd af dæmigerðri virkjun með ósamfasa rafala tengdum við dreifikerfið

Tenging við dreifikerfið getur verið með ýmsu móti og misdýr. Ef kostur er á að tengja virkjunina beint inn á lágspennt dreifikerfi rafveitunnar þá er það ódýrasti kosturinn. Ef vegalengd frá virkjun að tengistað rafveitu er löng, getur það leitt af sér að nauðsynlegt sé að flytja raforkuna á hærri spennu að tengistað rafveitunnar. Það mun leiða af sér meiri kostnað í formi tengigjalds og ræðst það af því hvaða spenna er nauðsynleg fyrir flutninginn. Myndin hér að neðan sýna tvo mismunandi tengimöguleika virkjunarinnar við dreifikerfið.



Mynd 7.3 Tvær mismunandi tengingar virkjunar við dreifikerfi rafveitu

8 UMHVERFISMÁL

8.1 Almennt

Við undirbúning lítilla virkjana þarf að huga að því hvaða áhrif framkvæmdin getur haft á umhverfið. Kanna þarf hvort á svæðinu gildi einhver verndarákvæði. Hugsanlega getur virkjunin eða framkvæmdir henni tengdar haft einhver áhrif á náttúrufar, menningarminjar, landslag, landnotkun eða aðra þætti í umhverfinu. Skipulagsstofnun tekur ákvörðun um það hvort framkvæmd við litla virkjun skuli háð mati á umhverfisáhrifum samkvæmt lögum nr. 106/2000 þar um, sjá kafla 9.2.2.

8.2 Umhverfisáhrif á framkvæmdatíma

Á framkvæmdatímanum er það helst jarðrask af völdum framkvæmdanna sem hefur áhrif á umhverfið. Gerð hjáveitu, stíflugerð, bygging þrýstipípu, bygging stöðvarhúss og vegagerð breytir útliti svæðisins, svo og efnistaka í tengslum við framkvæmdina. Auk þess eykst umferð í nágrenninu. Umfang framkvæmda og staðsetning virkjunar ræður mestu um það hver umhverfisáhrifin verða og þarf að taka eftirfarandi þætti til athugunar:

- **Náttúrufar:** Raskið getur haft áhrif á gróður og jarðmyndanir og valdið því að vatnsfarvegir gruggist tímabundið. Gæta þarf að því að virkjunin spilli ekki verðmætu gróðurlendi og vernduðum jarðmyndunum eða hafi áhrif á lífríki s.s. fiska.
- **Verndarsvæði:** Áður en framkvæmdir hefjast þarf að kanna hvort einhver náttúruverndarsvæði eða menningarminjar séu á svæðinu.
- **Samfélag:** Virkjun getur haft nokkur staðbundin áhrif á samfélag. Tímabundið geta m.a. skapast störf í héraði við byggingu virkjunarinnar. Hversu mikil áhrifin verða fer m.a. eftir stærð virkjunarinnar sem á að reisa.

8.3 Umhverfisáhrif á rekstrartíma

Mikilvægt er að virkjunin falli sem best að umhverfinu að loknum framkvæmdum. Því ber að vanda staðarval og huga að því að varanleg mannvirki hafi sem minnst áhrif á ásýnd svæðisins eða aðra eftirfarandi þætti:

- **Landslag:** Leggja verður mat á það hverju sinni hvernig framkvæmdum verði best háttað, til að áhrif á landslag verði sem minnst. Sem dæmi má nefna að ef þrýstipípa er lögð ofan jarðar er hún meira áberandi í landslagi en ef hún er lögð í stokk eða niðurgrafin.
- **Breytingar á farvegum:** Ef um miklar breytingar er að ræða á farvegum vatnsfalla getur það haft áhrif á vatnafar svæðisins og lífríki, e.t.v. einnig á fiskgengd. Í sumum tilfellum getur þurft að byggja laxastiga eða tryggja á annan hátt að fiskur komist framhjá virkjuninni.
- **Hávaði:** Þegar virkjun hefur verið gangsett getur hávaði frá henni valdið ónæði. Í sumum tilfellum þarf að grípa til mótvægisaðgerða við hönnun virkjunarinnar og draga úr hávaða til að uppfylla skilyrði sem sett eru í reglugerð nr. 933/1999 um hávaða.
- **Hættur:** Ganga þarf úr skugga um að ekki stafi hættur af rekstri virkjunarinnar s.s. af völdum olíumengunar frá vélum, flóðahættu og hugsanlega drukknunarhættu í uppistöðulónum og skurðum.

- **Samfélag:** Smávirkjanir eru yfirleitt ekki taldar hafa mikil áhrif á samfélag á landsvísu. Virkjun getur þó haft nokkur staðbundin áhrif á samfélag. Hversu mikil og varanleg áhrifin verða fer m.a. eftir stærð virkjunarinnar sem á að reisa og því hvort samhliða byggingu virkjunar sé gert ráð fyrir uppbygginu annarrar atvinnuskapandi starfsemi.
- **Skipulag:** Kanna þarf hvort virkjunin hefur áhrif á aðra landnotkun s.s. landbúnað, nálæg mannvirki eða útivist á svæðinu. Einnig verður framkvæmdin að vera í samræmi við gildandi skipulag á svæðinu.

9 SAMSKIPTI VIÐ OPINBERA AÐILA

9.1 Almennt

Áður en af byggingu lítillar virkjunar getur orðið og rekstur hafist þarf að hafa samskipti við ýmsa opinbera aðila. Þetta á við um öflun upplýsinga, ráðgjöf, leyfisumsóknir, fjármögnun og eftirlit. Við undirbúning verður að gera ráð fyrir að afgreiðsla opinberra aðila geti verið nokkuð flókin og tekið talsverðan tíma. Taka þarf tillit til þessa við áætlanagerð.

9.2 Opinberir aðilar

Hér á eftir er greint frá hlutverki helstu opinberu aðila og hvaða samskipti þarf að hafa við viðkomandi. Með tilkomu nýrra raforkulaga má búast við að afgreiðsluferli og hlutverk einhverra geti breyst.

9.2.1 Iðnaðar- og viðskiptaráðuneyti

Samkvæmt Orkulögum nr. 68/1967 þarf að sækja um leyfi iðnaðarráðherra til að reisa og reka 200-2000 kW raforkuver. Þessi viðmiðun kann að breytast með tilkomu nýrra raforkulaga. Með umsókn þarf að skila uppdráttum og kostnaðar- og rekstraráætlun hins fyrirhugaða raforkuvers. Ráðherra sendir gögnin Orkustofnun til umsagnar, áður en hann afgreiðir málið endanlega.

9.2.2 Skipulagsstofnun

Samkvæmt lögum nr. 106/2000 um mat á umhverfisáhrifum á að tilkynna vatnsorkuver með uppsett rafafl 100 kW eða meira til Skipulagsstofnunar, sem tekur ákvörðun um hvort framkvæmdin skuli háð mati á umhverfisáhrifum áður en leyfi verður veitt. Samkvæmt lögunum getur minni virkjun einnig verið tilkynningaskyld ef efnistaka, vegagerð, stíflur og önnur miðlunarmannvirki eða vatnsleiðslur eru fyrirhugaðar á verndarsvæðum í tengslum við framkvæmdina.

Skipulagsstofnun gefur út leiðbeiningar um mat á umhverfisáhrifum og er m.a. hægt að nálgast þær á heimasíðu stofnunarinnar www.skipulag.is. Þar eru upplýsingar um hvaða gögn þurfi að fylgja tilkynningu. Mikilvægt er að tilkynna framkvæmdina til Skipulagsstofnunar, snemma á undirbúningsstigi, til að fá úr því skorið hvort hún telst matsskyld eða ekki. Skipulagsstofnun tekur ákvörðun um málið á fjórum vikum. Mat á umhverfisáhrifum tekur talsvert lengri tíma og leiðir til aukins kostnaðar við framkvæmdina.

9.2.3 Sveitarstjórn, skipulagsfulltrúi og byggingarfulltrúi

Sveitarstjórn veitir upplýsingar um skipulag á framkvæmdasvæðinu. Eftir að hafa farið yfir gögn sem send eru inn með umsókn veitir viðkomandi sveitarstjórn framkvæmdaleyfi og byggingarleyfi til virkjunar í samræmi við Skipulags- og byggingarlög nr. 73/1997. Kannað er hvort framkvæmdin samræmist gildandi skipulagi. Ef breyta þarf skipulagi á svæðinu er það á ábyrgð sveitarstjórnar. Ef ekkert skipulag er í gildi þarf sveitarstjórn að fá meðmæli Skipulagsstofnunar áður en veitt er framkvæmdaleyfi. Skipulagsnefnd eða skipulags- og byggingarnefnd, þar sem það á við, fara með skipulagsmál sveitarfélags. Skipulagsfulltrúi er framkvæmdastjóri skipulagsnefndar. Byggingarnefnd eða skipulags- og byggingarnefnd fara með byggingarmál sveitarfélags. Byggingarfulltrúi er framkvæmdastjóri byggingarnefndar. Ef

byggingarfulltrúa er einnig falið að annast skipulagsmál nefnist hann skipulags- og byggingarfulltrúi.

9.2.4 Orkustofnun

Orkustofnun er ríkinu til ráðuneytis um orkumál samkvæmt Orkulögum nr. 68/1967. Orkustofnun aflar gagna um orkulindir landsins og heldur skrá yfir þær. Vatnamælingar, sem er sjálfstæð rekstrareining, hefur umsjón með vatnamælingagögnum og þangað má t.d. leita til að fá upplýsingar og leiðbeiningar um rennslismælingar vatnsfalla sem fyrirhugað er að virkja. Þá er Orkustofnun umsagnaraðili vegna umsókna um leyfi iðnaðarráðherra til að reisa og reka raforkuver. Á heimasíðu Orkustofnunar www.os.is má m.a. nálgast leiðbeiningar til raforkubænda um mælingar á vatnsrennsli.[17]

9.2.5 Rafveitur

Samkvæmt Orkulögum hafa rafveitur m.a. það hlutverk að framleiða, dreifa og selja raforku og því fylgir einkaleyfi til sölu og dreifingar á skilgreindum orkuveitusvæðum. Rafveitur hafa heimild til þess að semja við aðra aðila um kaup á raforku. Ef fyrirhugað er að selja raforku til Rafmagnsveitna ríkisins eða annarra rafveitna þarf að semja um að tengjast dreifikerfi þeirra.

9.2.6 Löggildingarstofa

Hlutverk Löggildingarstofu er tvíþætt. Annars vegar veitir stofnunin fyrirtækjum þjónustu á sviði faggildingar og mælifræði í samræmi við sameiginlegar reglur á Evrópska efnahagssvæðinu. Hins vegar annast stofnunin markaðsgæslu og rafmagnsöryggismál eins og kveðið er á um í lögum nr. 146/1996 um öryggi raforkuvirkja, neysluveitna og raffanga. Tilgangurinn er að tryggja öryggi og hagsmuni neytenda. Í reglugerð um raforkuvirki nr. 264/1971 er fjallað um reglur sem gilda um byggingu raforkuvera og hverjir megi hafa með höndum rekstur og viðhald. Þar er einnig nánar kveðið á um hlutverk Löggildingarstofu í þessum efnum. Verklagsreglur Löggildingarstofu fyrir rafveitur, iðjuver og einkarafstöðvar er hægt að nálgast hjá stofnuninni m.a. á heimasíðu hennar www.ls.is.

9.2.7 Umhverfisstofnun

Hjá Umhverfisstofnun (áður Náttúruvernd ríkisins) er hægt að fá upplýsingar um náttúruverndarsvæði á landinu. Ástæða getur verið til þess að hafa samband við Umhverfisstofnun snemma á undirbúningsstigi virkjunar. Heimasíða Umhverfisstofnunar er www.umhverfisstofnun.is. Á friðlýstum svæðum þarf leyfi Umhverfisstofnunar til framkvæmda. Stofnunin er einnig umsagnaraðili um framkvæmdir á verndarsvæðum, tilkynningar til Skipulagsstofnunar vegna ákvörðunar á matsskyldu og framkvæmdaleyfi sveitarstjórnar.

9.2.8 Veiðimálastjóri

Hlutverk veiðimálastjóra er m.a. að heimila byggingu fiskvega og samþykkja gerð mannvirkja eða efnistöku, sem haft getur áhrif á lífríki í ám og vötnum. Ef virkjun er fyrirhuguð við veiðivatn þarf því að hafa samband við veiðimálastjóra. Nánari upplýsingar og eyðublöð er að finna á heimasíðu veiðimálastjóra www.veidimalastjori.is.

9.2.9 Veiðimálastofnun

Veiðimálastofnun er opinber rannsókna- og ráðgjafarstofnun í veiðimálum. Hlutverk stofnunarinnar er m.a. að stunda rannsóknir á lífríki í ám og vötnum, veita ráðgjöf t.d. varðandi mannvirkjagerð og reka gagnagrunn varðandi lífríki og umhverfi áa og vatna. Þangað má því

[17] Jóna Finndís Jónsdóttir og Kristinn Einarsson 2002

leita til að fá nauðsynlegar upplýsingar um þessi mál ef á þarf að halda m.a. á heimasíða stofnunarinnar http://www.veidimal.is/.

9.2.10 Opinberar lánastofnanir

Í upphafi getur verið gott að leita eftir upplýsingum um leiðir til fjármögnunar verkefnisins hjá samtökum raforkubænda og atvinnuráðgjafa á viðkomandi svæði. Nánar er fjallað um fjármögnunarleiðir og lánastofnanir í kafla 11.3.

9.3 Lög og reglugerðir

Taka verður tillit til fjölda laga og reglugerða við undirbúning, byggingu og rekstur smávirkjana. Þau kveða á um leyfi, reglur og ýmis skilyrði sem þarf að uppfylla. Nánar er greint frá hvernig þau tengjast samskiptum við opinbera aðila í kafla 9.2 og leyfismálum í kafla 10. Lagasafnið er hægt að nálgast á vef Alþingis, www.althingi.is. Reglugerðir er í flestum tilfellum að finna á vef viðkomandi stofnunar, þ.e. Orkustofnunar www.os.is, Löggildingarstofu www.ls.is, Skipulagstofnunar www.skipulag.is og Umhverfisstofnunar www.umhverfisstofnun.is. Hér á eftir eru talin upp helstu lög og reglugerðir sem tengst geta undirbúningi og byggingu smávirkjana:

- Orkulög nr. 68/1967
- Lög um Orkusjóð nr. 49/1999
- Lög nr. 146/1996 um öryggi raforkuvirkja, neysluveitna og raffanga
- Reglugerð nr. 264/1971 um raforkuvirki með áorðnum breytingum
- Vatnalög nr. 15/1923
- Jarðalög nr. 65/1976
- Lög nr. 58/1998 um þjóðlendur og ákvörðun marka eignarlanda, þjóðlendna og afrétta
- Lög nr. 44/1999 um náttúruvernd
- Lög nr. 106/2000 um mat á umhverfisáhrifum
- Reglugerð nr. 671/2000 um mat á umhverfisáhrifum
- Skipulags- og byggingalög nr. 73/1997
- Skipulagsreglugerð nr. 400/1998
- Byggingareglugerð nr. 441/1998
- Lög nr. 76/1970 um lax og silungsveiði
- Þjóðminjalög nr. 107/2001
- Reglugerð nr. 785/1999 um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun
- Reglugerð nr. 798/1999 um hávaða

10 LEYFI

10.1 Almennt

Lítil virkjun getur verið háð ýmis konar leyfum og er hér á eftir greint frá þeim helstu. Ganga þarf úr skugga um það í hverju tilfelli hvaða leyfa þarf að afla.

10.2 Ákvörðun um matsskyldu

Áður en sótt er um tilskilin leyfi til framkvæmda við virkjun stærri en 100 kW þarf samkvæmt lögum nr. 106/2000 um mat á umhverfisáhrifum að tilkynna hana til Skipulagsstofnunar sem tekur ákvörðun um hvort fram þurfi að fara mat á umhverfisáhrifum virkjunarinnar. Þetta getur einnig átt við um virkjanir minni en 100 kW ef fyrirhugaðar framkvæmdir eru á verndarsvæði. Eftirfarandi eru helstu upplýsingar sem þurfa að fylgja tilkynningu.[18] Nánari leiðbeiningar fást m.a. hjá Skipulagsstofnun:

- Lýsing á fyrirhugaðri framkvæmd, umfangi hennar og helstu framkvæmda- og rekstrarþáttum.
- Stutt lýsing á staðháttum, landslagi, gróðurfari og landnotkun og hvort fyrirhugað framkvæmdasvæði liggur á eða nærri verndarsvæðum.
- Lýsing á hvaða þættir framkvæmdar og/eða rekstrar kunni helst að valda áhrifum á umhverfið.
- Upplýsingar um hvernig fyrirhuguð framkvæmd fellur að gildandi skipulagsáætlunum.
- Upplýsingar um fyrirliggjandi álit umsagnaraðila og annarra sem framkvæmdaraðili kann að hafa leitað eftir.
- Uppdráttur af fyrirhugaðri framkvæmd, afstöðu hennar í landi þar sem fram koma mörk framkvæmdasvæðis og mannvirki sem fyrir eru á svæðinu.

10.3 Virkjunarleyfi

Samkvæmt Orkulögum nr. 68/1967 þarf leyfi iðnaðarráðherra til að reisa og reka 200-2000 kW raforkuver. Til að reisa og reka stærri orkuver en 2000 kW þarf leyfi Alþingis.

Í frumvarpi að nýjum raforkulögum er ekki gert ráð fyrir að leyfi ráðherra þurfi vegna raforkuvera undir 1000 kW. Ef orkan er seld eða sett inn á raforkukerfi á að tilkynna minni raforkuver til Orkustofnunar.

10.4 Framkvæmdaleyfi

Framkvæmdaleyfi viðkomandi sveitarstjórnar þarf, samkvæmt Skipulags- og byggingarlögum nr. 73/1997, fyrir meiri háttar framkvæmdum sem ekki eru háðar byggingarleyfi. Þetta á við um framkvæmdir sem taldar eru upp í 1. og 2. viðauka laga um mat á umhverfisáhrifum. Það á við um smávirkjanir með uppsett rafafl 100 kW eða meira og getur einnig átt við um minni virkjanir ef framkvæmdir eru fyrirhugaðar á verndarsvæði. Framkvæmdin þarf að vera í samræmi við staðfest skipulag og úrskurð um mat á umhverfisáhrifum ef við á. Sveitarstjórn getur veitt leyfi fyrir einstökum framkvæmdum án þess að staðfest skipulag liggi fyrir á svæðinu að fengnum meðmælum Skipulagsstofnunar.

[18] Skipulagsstofnun 2002

Helstu gögn sem fylgja þurfa umsókn um framkvæmdaleyfi eru:

- Uppdráttur sem sýnir framkvæmd og afstöðu hennar í landi, í mælikvarða 1:50.000-1:5.000 þar sem fram koma mörk viðkomandi svæðis, tenging þess við þjóðveg, hæðarlínur og mannvirki sem fyrir eru á svæðinu.
- Þar sem það á við skal einnig leggja fram afstöðuuppdrátt í mælikvarða 1:2.000-1:1.000 þar sem fram koma mörk viðkomandi svæðis, hæðarlínur, mannvirki sem fyrir eru á svæðinu og upplýsingar um fyrirhugaðar framkvæmdir eftir því sem við getur átt.
- Fylgigögn þar sem fram kemur lýsing á framkvæmd og hvernig framkvæmd fellur að gildandi skipulagsáætlunum.
- Aðrar upplýsingum sem skipulagsnefnd telur nauðsynlegar.

Skipulagsnefnd getur í einstökum tilvikum afgreitt umsóknir um framkvæmdaleyfi á grundvelli matsskýrslu og úrskurðar um mat á umhverfisáhrifum og/eða deiliskipulags. Einnig má gera ráð fyrir að gögn, sem áður hefur verið skilað inn til annarra opinberra aðila, nýtist vegna umsóknar um framkvæmdaleyfi. Framkvæmdaleyfi fellur úr gildi hafi framkvæmdir ekki hafist innan 12 mánaða frá útgáfu leyfis. Sjá nánar Skipulagsreglugerð nr. 400/1998 og leiðbeiningablöð sem nálgast má á heimasíðu Skipulagsstofnunar www.skipulag.is.

10.5 Byggingarleyfi

Sækja þarf um byggingarleyfi til viðkomandi sveitarstjórnar, samkvæmt Skipulags- og byggingarlögum nr. 73/1997, fyrir varanlegum húsbyggingum og tengivirkjum sem gerð eru í tengslum við virkjun. Byggingarleyfi fellur úr gildi hafi framkvæmdir ekki hafist innan 12 mánaða frá útgáfu leyfis.

Með umsókn um byggingarleyfi eiga að fylgja eftirfarandi gögn:

- Aðaluppdrættir í þremur eintökum nema annað sé ákveðið.
- Byggingarlýsing varðandi efnisval o.fl.
- Lýsing á fyrirhuguðum framkvæmdum.
- Sé bygging eða starfsemi sérstaks eðlis getur byggingarfulltrúi krafist þess að tilteknir séruppdrættir ásamt greinargerð fylgi með umsókn.
- Sjá nánar Byggingareglugerð nr. 441/1998 sem nálgast má á heimasíðu Skipulagsstofnunar www.skipulag.is.

10.6 Starfsleyfi

Fyrir virkjanir með uppsett rafafl 2 MW eða meira þarf starfsleyfi viðkomandi heilbrigðisnefndar samkvæmt reglugerð nr. 785/1999 um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun (www.umhverfisstofnun.is). Í sumum tilfellum getur tímabundin starfsemi á framkvæmdatíma minni virkjana einnig verið starfsleyfisskyld, t.d. ef setja þarf upp vinnubúðir fyrir starfsmenn. Heilbrigðisnefnd viðkomandi sveitarfélags veitir starfsleyfi.

10.7 Heimild veiðimálastjóra

Samkvæmt 41. gr. laga nr. 76/1970 um lax og silungsveiði er skylt að gera fiskveg í veiðivatn ef gera á mannvirki sem tálma fiskgengd og er framkvæmdin háð samþykki veiðimálastjóra. Einnig er efnistaka og mannvirkjagerð í eða við veiðivatn háð samþykki veiðimálastjóra

samkvæmt 43. gr. laganna, ef hætta er á að hún hafi áhrif á lífríki vatnsins (www.veidimalastjori.is).

10.8 Leyfi Fornleifaverndar ríkisins

Samkvæmt Þjóðminjalögum nr. 107/2001 má enginn, hvorki landeigandi, ábúandi né nokkur annar, spilla, granda, breyta, hylja, laga, aflaga né úr stað flytja fornleifar nema með leyfi Fornleifaverndar ríkisins. Því þarf að sækja um leyfi ef í ljós kemur að framkvæmdir við virkjun hafa áhrif á fornleifar.

11 STOFNKOSTNAÐUR, ARÐSEMI OG FJÁRMÖGNUN

11.1 Stofnkostnaður

Áður en hægt er að huga að áætlun kostnaðar þurfa að liggja fyrir tæknilegar upplýsingar, svo sem um rennsli, fallhæð og fyrirkomulag virkjunarinnar. Eftir því sem meiri kröfur eru gerðar til nákvæmni kostnaðaráætlunar, þurfa þessar upplýsingar að vera betri. Samhliða áætlun stofnkostnaðar þarf að kanna hvernig er best að ráðstafa orkunni og hvaða verð fæst fyrir hana. Allar kostnaðartölur eru án virðisaukaskatts (vsk).

Hér eru settir fram þrír flokkar kostnaðaráætlana eftir nákvæmni, sem ættu að henta fyrir smávirkjanir:

- **Mat á stofnkostnaði út frá frumathugun:** Einungis liggja fyrir hugmyndir að staðsetningu og stærð virkjunar. Áætlunin byggir á reynslutölum fyrir kostnað miðað við uppsett afl og fallhæð, sjá mynd 11.1. Kanna þarf sérstaklega tengikostnað við rafveitu. Hér þurfa að liggja fyrir fyrstu upplýsingar um rennsli og fallhæð. Með því að taka mið af aðstæðum á staðnum geta sérfræðingar metið hvort viðkomandi virkjunarkostur sé hlutfallslega ódýr eða dýr. Á þessu stigi þarf að kanna hvort hægt er að koma orkunni í verð og hvaða orkuverðs megi vænta. Þetta mat ætti að gefa vísbendingu um það hvort ástæða sé til að kanna viðkomandi virkjunarkost frekar.
- **Áætlun stofnkostnaðar byggð á forhönnun virkjunar:** Ákveða þarf staðsetningu og stærðir helstu þátta, svo sem stíflu, inntaks, skurða, þrýstipípu, stöðvarhúss og vega, ásamt helsta vél- og rafbúnaði og raftengingum. Jafnframt þarf að kanna jarðfræði svæðisins og treysta vatnamælingar. Kanna þarf matsskyldu og hvort gera þarf umhverfisrannsóknir. Á þessu stigi ætti að gera drög að samningi við viðkomandi rafveitu og fá gleggri mynd af orkuverði og tengikostnaði. Meta þarf framleiðslu ársins og verðmæti seldrar raforku. Áætlun stofnkostnaðar þarf að byggja á magneiningum fyrir helstu þætti. Kanna þarf hvaða vélagerðir henta best, t.d. með aðstoð sérfræðinga, og spyrjast fyrir hjá vélaframleiðendum um vél- og rafbúnað ásamt viðmiðunarverði. Ákveða þarf hvort rafali verður samfasa eða ósamfasa. Jafnframt ætti á þessu stigi að bera saman mismunandi kosti, svo sem með tilliti til staðsetningar mannvirkja, vélargerða og afkasta virkjunarinnar (uppsett afl).
- **Áætlun stofnkostnaðar byggð á svokallaðri verkhönnun virkjunarinnar:** Vatnamælingar þurfa að vera fullnægjandi, þannig að hægt sé að gera langæislínu. Samningar um tengingu og raforkusölu þurfa að liggja fyrir, ásamt nokkuð nákvæmri áætlun um raforkusölu á ári. Ákveða þarf nákvæma staðsetningu, stærð og hæðarkóta allra mannvirkja. Hönnun mannvirkja og fyrirkomulag búnaðar þarf að liggja fyrir. Ákveða þarf allan helsta búnað, svo sem hvaða gerðir hverfla koma til greina, hvernig raftengingu verður háttað, kennistærðir rafala, efni í þrýstipípu og annað þessháttar. Gera þarf einlínumynd af rafbúnaði virkjunarinnar, ásamt teikningu eða lýsingu sem gerir grein fyrir því hvernig virkjuninni er stjórnað. Áætlunin þarf að byggja á nokkuð nákvæmum magneiningum fyrir allan búnað og mannvirki. Áætlunin ætti að byggja á óformlegum tilboðum í vél- og rafbúnað og einingarverðum og magneiningum í mannvirki. Meta þarf kostnað við hönnun og umsjón með verkinu, kostnað vegna undirbúnings og fjármagnskostnað á byggingartímanum. Einnig þarf að taka tillit til hugsanlegra landakaupa eða samninga sem gera þarf vegna virkjunarinnar, ef um slíkt er að ræða.

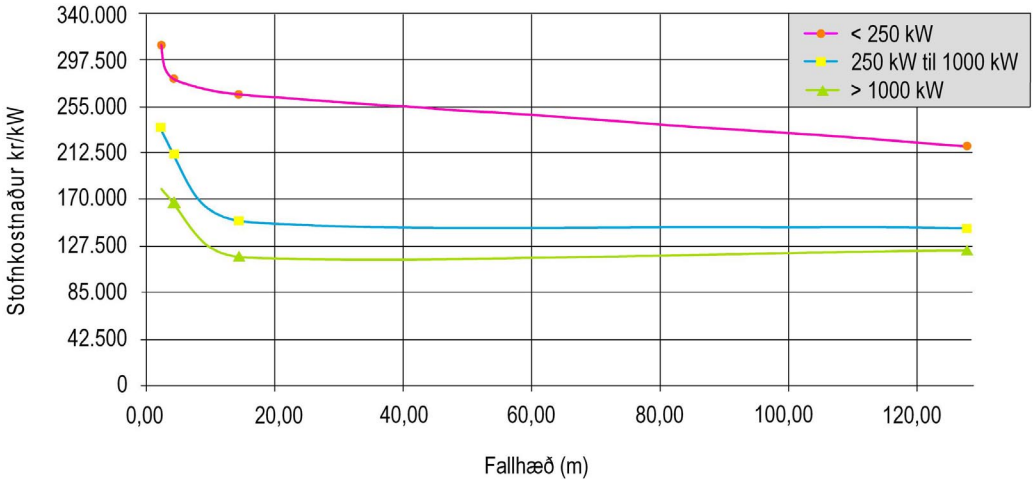
Stofnkostnaður er háður því hvernig virkjunin er hönnuð og hvaða búnaður og efni er valið. Þegar um er að ræða smávirkjanir kemur til greina að kaupa staðlaðan búnað eða búnað sem er sérhannaður fyrir viðkomandi aðstæður og eftir óskum kaupandans. Fyrir virkjanir sem eru undir 100 kW er líklega hagstæðara að kaupa staðlaðan búnað. Staðlaður búnaður er ódýrari, en líklega verður nýtnin eitthvað lægri. Kaupandinn getur heldur ekki haft áhrif á ýmsa þætti hönnunarinnar. Tafla 11.1. sýnir tilbúið dæmi um kostnaðaráætlun fyrir smávirkjun.

Tafla 11.1 Tilbúið dæmi, samantekt stofnkostnaðar fyrir 100 kW virkjun

Kostnaðartölur eru í krónum án vsk.

1.	Stífla, yfirfall	1.500.000
2.	Skurðir	500.000
3.	Inntak	800.000
4.	Þrýstipípa	1.200.000
5.	Stöðvarhús	2.000.000
6.	Vél- og rafbúnaður	7.000.000
7.	Tenging við rafveitu	1.500.000
8.	Vegagerð	500.000
	Verktakakostnaður án vsk.	**15.000.000**
9.	Ófyrirséður kostnaður	2.000.000
10.	Hönnun, umsjón	2.000.000
11.	Undirbúningskostnaður	1.500.000
12.	Annar verkkaupakostnaður	1.000.000
	Heildarkostnaður án vsk.	**21.500.000**

Það er einkenni vatnsaflsvirkjana að stofnkostnaður er hlutfallslega hár en kostnaður vegna rekstrar og viðhalds er hlutfallslega lágur. Greiðslur af lánum vega því þungt í árlegum kostnaði. Árlegur rekstrarkostnaður vegna viðhalds og umsjónar smávirkjana er lágur ef vel tekst til um hönnun og bygginu. Í reiknidæmunum hér er miðað við 2% af stofnkostnaði[19]. Þetta hlutfall er þó líklega of lágt fyrir minnstu virkjanirnar, sem eru undir 50 kW.



Mynd 11.1 Stofnkostnaður (án vsk.) sem fall af uppsettu afli og fallhæð [20]

[19] Germundrød, Knut 1993, bls. 23
[20] Penche, Celso 1998, bls. 238. (Gjaldmiðill færður úr ECU í kr, 1 ECU = 85 kr)

11.2 Arðsemi

Arðsemi framkvæmda má reikna með ýmsum aðferðum. Hér er sett fram einföld aðferð sem miðast við að reikna það raforkuverð sem þarf að lágmarki, miðað við ákveðnar forsendur um vexti, afskriftartíma og rekstrarkostnað (umsjón og viðhald). Sýnd eru nokkur dæmi með mismunandi forsendum. Einnig er sýnt hvernig hægt er að reikna það raforkuverð sem þarf að lágmarki, til að tekjur af raforkusölu séu jafnar gjöldum vegna afborgana af lánum og rekstrarkostnaðar. Sýnd eru áhrif þess að lækka kostnað vegna eigin raforkunotkunar.

Hér að neðan er sett upp tilbúið dæmi um útreikning á framleiðslukostnaði raforku fyrir virkjunina sem notuð var sem dæmi um stofnkostnað í kafla 11.1:

Tafla 11.2 Tilbúið dæmi, forsendur arðsemisútreikninga

1.	Uppsett afl	100	kW
2.	Stofnkostnaður	21.500.000	kr
3.	Nýtingartími á ári	7.000	h
4.	Árleg raforkuframleiðsla	700.000	kWh
5.	Árlegur rekstrarkostn. sem hlutfall af stofnkostn.	2	%
6.	Endurgreiðslutími fjármagns	25	ár
7.	Vextir á ári	8	%

Arðsemi framkvæmdarinnar má reikna miðað við mismunandi endurgreiðslutíma og vexti. Miðað við að virkjunin endurgreiði allan stofnkostnaðinn til baka á 25 árum með 8% árlegum vöxtum þarf að greiða 21.500.000 x 0,0937 = 2.014.550,- krónur á ári miðað við jafnar greiðslur allt tímabilið, þar sem 0,0937 er svokallaður jafngreiðslustuðull ($0{,}0937 = 0{,}08 / (1 - (1+0{,}08)^{-25})$). Því til viðbótar þarf virkjunin að standa straum af kostnaði vegna umsjónar og viðhalds, sem er settur 2% af stofnkostnaði. Út frá þessu má reikna framleiðslukostnað (lágmarks raforkuverð), sem þarf að nást að meðaltali yfir afskriftartíma virkjunarinnar:

$$K = (G + R)/ F \qquad (11.1)$$

Þar sem:

K er lágmarks raforkuverð á kílóvattstund	(kr/kWh)
G er árlegur fjármagnskostnaður	(kr/ári)
F er árleg raforkuframleiðsla	(kWh/ári)
R er árlegur viðhalds- og rekstrarkostnaður	(kr/ári)

Með því að setja tölurnar inn í formúluna fæst:

$$K = (G + R)/ F$$

$$= (2.014.550 + 0{,}02 \times 21.500.000)/700000 = 3{,}49 \text{ kr/ kWh}$$

Niðurstaðan er því sú, að miðað við forsendurnar í töflu 11.2 þarf meðalverð raforkunnar á afskriftartímanum (25 ár) að vera 3,49 kr/kWh, ef virkjunin á að skila 8% vöxtum á það fjármagn sem lagt var í hana (21,5 millj.).

Í Töflu 11.3 er stillt upp nokkrum dæmum fyrir útreikning á lágmarksverði raforku fyrir mismunandi forsendur um nýtingartíma á ári, afskriftartíma og ávöxtunarkröfu.

Tafla 11.3 Tilbúin dæmi, framleiðslukostnaður raforku miðað við mismunandi forsendur

Uppsett afl er 100 kW, stofnkostnaður er 21,5 millj. án vsk. og rekstrarkostnaður á ári er 430.000 án vsk. Vextir á ári eru settir 8%.

	Eining	1	2	3	4	5
Nýtingartími á ári	klst/ári	7.000	8.500	7.000	8.500	4.000
Orkuframleiðsla á ári	KWh/ári	700.000	850.000	700.000	850.000	400.000
Endurgreiðslutími	Ár	25	25	40	40	25
Jafngreiðslustuðull		0,0937	0,0937	0,0839	0,0839	0,0937
Fjármagnskostnaður	kr/ári	2.014.094	2.014.094	1.802.993	1.802.993	2.014.094
Lágmarks raforkuverð	kr/kWh	3,49	2,88	3,19	2,63	6,11

Dæmin í töflu 11.3 sýna hvað raforkuverðið þarf að lágmarki að vera til að ná ákveðinni arðsemi á það fé sem lagt er í virkjunina. Það er án tillits til þess hvort um er að ræða lánsfé, styrki eða eigið fé. Dálkur 1 sýnir dæmið sem tekið er hér að ofan. Dálkur 2 sýnir áhrif þess til lækkunar á raforkuverði ef nýtingartíminn er mjög hár. Dálkur 3 sýnir áhrif afskriftatímans (lánstímans). Dálkur 4 sýnir hvað orkuverðið getur lægst orðið fyrir virkjun af þessari stærð, miðað við gefnar forsendur, þar sem miðað er við mjög háan nýtingartíma og langan afskriftartíma. Dálkur 5 sýnir hversu óhagkvæmt það er að reka (smá)virkjun ef nýtingartíminn er lágur (4000 h nýtingartími jafngildir um 11 tímum á dag alla daga ársins).

Reikna þarf og bera saman árlegan kostnað og tekjur til að kanna hvort hagnaður eða tap er á virkjuninni. Kostnaðurinn samanstendur af greiðslum af lánum og rekstrarkostnaði en tekjurnar koma af raforkusölu. Dæmi um þetta eru sýnd í töflum 11.4 og 11.5. Í töflu 11.5 eru sýnd áhrif þess ef hægt er að lækka kostnað vegna eigin notkunar raforku með tilkomu virkjunar. Hér er gert ráð fyrir að smávirkjunin tengist dreifikerfi rafveitunnar og að viðkomandi aðili kaupi raforku af veitunni, en semji um lækkun á eigin notkun með tilkomu virkjunarinnar.

Tafla 11.4 Tilbúið dæmi 1, útreiknaður framleiðslukostnaður raforku

Miðað er við að að standa straum af kostnaði af lánum og rekstri.
Kostnaðartölur án vsk.

1.	Uppsett afl	100	kW
2.	Stofnkostnaður	21.500.000	kr
3.	Árleg raforkusala (nýtingartími 7000 h/ ári)	700.000	kWh
4.	Árlegur rekstrarkostnaður, 2% af stofnkostnaði	430.000	kr
5.	Eigið framlag, t.d. í formi vinnu	4.000.000	kr
6.	Styrkir	2.000.000	kr
7.	Langtímalán, til 40 ára, 7,5% vextir	11.750.000	kr
	Jafnar greiðslur á ári	932.954	kr
8.	Lán til 10 ára með 8% vöxtum	3.750.000	kr
	Jafnar afborganir á ári	558.861	kr
9.	Samtals afborganir af lánum á ári	1.491.814	kr
10.	Framleiðslukostnaður raforku	2,75	kr/kWh
	(1.491.814 + 430.000)/700.000 = 2,75 kr/ kWh		

VGK 2003

Tafla 11.5 Tilbúið dæmi 2, útreiknaður framleiðslukostnaður raforku

Miðað er við að standa straum af kostnaði af lánum og rekstri. Tekið er tillit til lækkun kostnaðar vegna eigin notkunar raforku. Kostnaðartölur án vsk.

1.	Uppsett afl	30	kW
2.	Stofnkostnaður	7.500.000	kr
3.	Árleg raforkusala	210.000	kWh
3.	Eigin raforkunotkun á ári	75.000	kWh
4.	Lækkun dreifikerfiskostnaðar á eigin notkun (1 kr/kWh) [1)]	75.000	kr
5.	Árlegur rekstrarkostnaður, 3% af stofnkostnaði	225.000	kr
6.	Eigið framlag, t.d. í formi vinnu	2.000.000	kr
7.	Styrkir	1.000.000	kr
8.	Langtímalán, til 40 ára, 7,5% vextir	3.500.000	kr
	Jafnar greiðslur á ári	277.901	kr
9.	Lán til 10 ára með 8% vöxtum	1.000.000	kr
	Jafnar afborganir á ári	149.931	kr
10.	Samtals afborganir af lánum á ári	427.832	kr
11.	Framleiðslukostnaður raforku	2,75	kr/kWh
	(427.832 + 225.000 - 75.000)/210.000 = 2,75 kr/ kWh		

[1)] Sett fram sem dæmi um hugsanlega lækkun, en um slíkt þarf að semja í hverju tilviki. Reikna má með að gjaldskrá dreifikerfis muni að hluta til byggjast á orkuháðum þætti (kr/kWh). Hugsunin á bak við afsláttinn í lið 4 er sú, að hann sé annars vegar vegna minni tapa í flutnings- og dreifikerfi og hins vegar gefi dreifiveitan eftir hluta af hinum orkuháða gjaldskrárþætti vegna heimanotkunar virkjunaraðila. Þó eingöngu í þeim tilfellum þar sem heimanotkun er tekin út frá dreifiskáp rafveitunnar við tengistað virkjunar (sjá mynd 7.2) og eðlilega mun afsláttur ekki gefinn á tímum þegar vinnsla virkjunar annar ekki heimanotkun.

Dæmin hér að ofan eru tilbúin dæmi, einungis til leiðbeininga við útreikninga.

11.3 Fjármögnun

Eins og sést í kaflanum hér á undan, um útreikninga á lágmarksverði raforku sem þarf til að standa straum af útlögðum kostnaði, þá skiptir miklu máli að eigið framlag sé verulegt og að lánsfé sé til langs tíma og með sem lægstum vöxtum. Ekki sakar heldur ef styrkir fást til verkefnisins. Ýmsir möguleikar eru á fjármögnun og því er mikilvægt að kynna sér vel þá kosti sem bjóðast. Í því sambandi er rétt að snúa sér til leiðbeinandi aðila, sjá kafla 13. Hér eru nefndir nokkrir helstu möguleikar til fjármögnunar.

- **Eigið fé:** Eins og nefnt er hér að framan er mikilvægt að hlutfall eigin fjár sé sem hæst, helst ekki lægra en 20-30% af stofnkostnaði. Þetta getur verið vinnuframlag af ýmsu tagi, allt eftir kunnáttu og tækjakosti, t.d. undirbúningsrannsóknir, jarðvinna, byggingarvinna, hönnun og umsjón með verkefninu.
- **Framleiðnisjóður landbúnaðarins:** Á heimasíðu sjóðsins www.fl.is eru ágætar upplýsingar um sjóðinn. Sjóðurinn leitast við að styðja við frumkvæði og vænleg viðfangs-

efni til atvinnusköpunar á bújörðum en einnig við stærri verkefni á sviði atvinnuuppbyggingar í dreifbýli. Sjóðurinn starfar ekki sem lánasjóður nema að litlu leyti. Skilyrði fyrir stuðningi sjóðsins við minni vatnsaflsvirkjanir til raforkuframleiðslu eru þau að virkjunin sé í eigu og byggð á ábýlisjörð umsækjanda. Með styrkumsóknum fyrir byggingu smávirkjunar þurfa að fylgja áætlanir um kostnað og rekstur, sem byggja á haldbærri vitneskju um vatnsbúskap, traustum forsendum um hönnun, samningum um raforkusölu og annað sem þarf til að meta umsóknina. Forgangs njóta þeir sem geta nýtt orkuna til nýrrar atvinnu-/tekjusköpunar á býlum sínum eða hafa gert samninga um orkusölu umfram búsþarfir.

- **Lánasjóður landbúnaðarins:** Hlutverk Lánasjóðs landbúnaðarins er að tryggja landbúnaðinum aðgang að lánsfé til fjárfestinga á hagstæðum kjörum og stuðla þannig að æskilegri þróun atvinnuvegarins. Sjóðurinn veitir m.a. lán til byggingar smávirkjana í sveitum. Á heimasíðu sjóðsins www.llb.is er að finna lánareglur hans og þar segir m.a. að skilyrði fyrir lánveitingu sé að fyrir liggi jákvætt mat á viðkomandi virkjunarkosti, að gert hafi verið arðsemismat af aðila sem Lánasjóðurinn viðurkennir, að gerður hafi verið langtímasamningur um sölu raforkunnar og að allra tilskilinna leyfa til framkvæmdanna hafi verið aflað. Umsækjendum er bent á að hafa samband við sjóðinn áður en framkvæmdir hefjast.
- **Byggðastofnun:** Á heimasíðu Byggðastofnunar www.bygg.is eru upplýsingar um hlutverk stofnunarinnar. Byggðastofnun er í eigu ríkisins og heyrir undir iðnaðarráðherra. Hlutverk stofnunarinnar er að vinna að eflingu byggðar og atvinnulífs á landsbyggðinni. Stofnunin veitir lán til byggingar smávirkjana og hugsanlega styrki ef um er að ræða verkefni sem felur í sér nýmæli af einhverju tagi. Með umsóknum um styrki og lán þarf að fylgja greinargerð með kostnaðaráætlun og viðskiptaáætlun.
- **Orkusjóður:** Hlutverk hans er fjármögnun grunnrannsókna á sviði orkumála annars vegar og fjárhagslegur stuðningur við ýmsar framkvæmdir og verkefni hins vegar. Orkusjóði er heimilt að styrkja sérstök verkefni á sviði hagkvæmrar orkunotkunar, þar með talda fræðslu og upplýsingastarfsemi, svo og hagrænar athuganir í orkumálum og umhverfisathuganir í tengslum við orkurannsóknir.
- **Ýmsir sjóðir**: Eftir eðli verkefnanna er hugsanlegt að aðrir sjóðir gætu veitt styrki, svo sem atvinnuþróunarsjóðir, Nýsköpunarsjóður og Átak til atvinnusköpunar.
- **Bankar og fjármögnunarfyrirtæki:** Almennt má segja að þessir aðilar skoði og meti hvert verkefni fyrir sig.
- **Samstarfsaðilar**: Það kemur til greina að virkjunaraðilinn fái til liðs við sig aðila sem hafa fjármagn, búnað, eða þekkingu og eru tilbúnir að leggja það í viðkomandi virkjunarkost. Annað hvort með því að fá greitt eftir ákveðnum reglum þegar virkjunin er komin í rekstur eða með því að eiga hlut í virkjuninni. Til dæmis mætti hugsa sér að virkjunaraðilinn fengi til liðs við sig sérhæfða aðila á ýmsum sviðum, svo sem aðila með tækniþekkingu, vélaframleiðanda og iðnverktaka. Ef þessir aðilar kæmu að verkefninu á forhönnunarstigi gætu þeir hjálpað til við að gera verkefnið sem hagkvæmast en tækju jafnframt þátt í fjárhagslegri áhættu.

12 SAMNINGAR

Við undirbúning smávirkjana þarf að hafa samskipti við marga aðila. Í mörgum tilvikum er mikilvægt að þessi samskipti séu með formlegum hætti. Ef um er að ræða atriði sem varða fjárhagslega þætti, varða leyfi til framkvæmda eða hafa bein áhrif á arðsemi verksins, ætti að gera um þau skriflega samninga. Þetta getur verið mismunandi eftir stærð virkjana eða eftir því hvernig standa á að byggingunni, en hér eru nefnd nokkur dæmi um samninga:

- Samningur við landeigendur, veiðiréttarhafa og þess háttar.
- Samningur við rafveitu á viðkomandi svæði um tengingu og sölu raforkunnar.
- Samningur við aðila sem sjá um undirbúningsrannsóknir.
- Samningur við ráðgjafa, ef um slíkt er að ræða. Skilgreina ætti umfang verksins eins og hægt er í upphafi. Um samskipti við ráðgjafa gildir íslenskur staðall númer ÍST35 um almenn atriði.
- Samningur við byggingaverktaka. Yfirleitt miðast verkefni byggingaverktaka við jarðvinnu, vegagerð og byggingu mannvirkja samkvæmt teikningum frá öðrum. Þetta er þó ekki algilt. Hægt er að bjóða verkið allt út eða einstaka hluta þess, en einnig er hægt að semja beint við verktaka. Um almenn atriði í samskiptum verktaka og verkkaupa gildir íslenskur staðall númer ÍST30.
- Samningur við framleiðanda vél- og rafbúnaðar. Þegar um smávirkjanir er að ræða er það yfirleitt svo að framleiðandinn skilar búnaðinum tilbúnum til uppsetningar en veitir einungis leiðbeiningar um uppsetninguna. Hvort sem um er að ræða útboð eða val á framleiðanda eftir tilboði án útboðs, ætti að gera samning um verkið. Ekki er til íslenskur staðall sem nær til slíkrar verktöku, en ef um stærri virkjanir er að ræða mætti styðjast við staðal sem gefinn er út af FIDIC (Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils) og heitir "CONDITIONS OF CONTRACT FOR ELECTRICAL AND MECHANICAL WORKS INCLUDING ERECTION ON SITE".
- Samningur um uppsetningu vélbúnaðar og rafbúnaðar: Uppsetning vél- og rafbúnaðar, ásamt raftenginu við notandann er gjarnan í höndum innlendra aðila. Hvort sem um er að ræða útboð eða beint val á verktaka, ætti að gera samning um uppsetningu búnaðarins. Í því tilviki gildir íslenskur staðall ÍST30 um almenn atriði í samskiptum verktaka og verkkaupa.
- Samningur við samstarfsaðila, ef um slíkt er að ræða.

Við gerð stærri samninga ætti að fá sérfræðinga til aðstoðar.

13 LEIÐBEINANDI AÐILAR

Þegar hugmynd að virkjun verður til vakna ýmsar spurningar. Til að fá aðstoð og upplýsingar um hvernig best er að bera sig að er m.a. hægt að leita til eftirtalinna aðila:

- Landssamband raforkubænda: Raforkubændur hafa stofnað samtök til að sjá um hagsmunamál sín.
- Orkustofnun: Heimasíða Orkustofnunar er www.os.is
- Iðnaðarráðuneytið: Heimasíða iðnaðarráðuneytisins er www.idnadarraduneyti.is
- Atvinnuþróunarfélög: Hlutverk atvinnuþróunarfélaga er að stuðla að atvinnu- og byggðarþróun á starfssvæðum sínum. Nánari upplýsingar um þessi félög má finna á heimasíðu Byggðastofnunar, www.bygg.is
- Félag áhugamanna um litlar vatnsaflsvirkjanir á Austurlandi.

14 UNDIRBÚNINGUR OG UPPBYGGING SMÁVIRKJANA

Til að meta hvort virkjunarkostur er hagkvæmur þarf að gera margs konar verkfræðilegar athuganir. Við undirbúning smávirkjana þarf að fara í gegnum nokkur þrep athugana á tæknilegum og kostnaðarlegum þáttum. Hagkvæmnin er mjög háð aðstæðum á hverjum stað og ekki er hægt að segja almennt að smávirkjanir séu hagkvæmar eða óhagkvæmar. Virkjanlegt vatnsafl er háð rennslinu og fallhæðinni og orkuframleiðslan er háð því hversu jafnt rennslið er yfir árið. Hagkvæmnin er háð því hversu mikið hægt er að framleiða af raforku, hversu mikið er hægt að selja á hverjum tíma og hvaða verð fæst fyrir raforkuna. Sem dæmi má nefna að á afskekktum stöðum, eða stöðum sem ekki eru tengdir raforkukerfinu, er raforkan verðmætari en í þéttbýli þar sem framboðið er meira. Á slíkum stöðum má búast við að orkunotkunin sé breytileg yfir sólarhringinn og einnig yfir árið og því ekki líklegt að hægt sé að selja alla þá raforku sem mögulegt er að framleiða á hverjum tíma. Einnig kann að haga þannig til, að hluta ársins sé ekki nægilegt rennsli til að anna hámarks raforkunotkun. Þetta hefur veruleg áhrif á hagkvæmni virkjunarkosts. Ef selt er inn á dreifikerfi rafveitna er verðið hins vegar lægra, en væntanlega er hægt að selja svo til alla orku sem hægt er að framleiða á hverjum tíma, þó á mismunandi verði. Þetta þarf þó að semja um í hverju tilviki. Einnig þarf að liggja fyrir hvaða kröfur eru gerðar til afhendingaröryggis. Mikilvægt er því að hafa samband við viðkomandi rafveitu snemma í ferlinu.

Hver virkjunarkostur hefur sína sérstöðu og það þarf að meta kostnað og hagkvæmni í hverju tilviki. Þegar afla þarf fjár til framkvæmdanna er nauðsynlegt að leggja fram haldgóðar áætlanir. Gott er að skipta áætlanagerðinni í nokkur þrep, en það er gert til þess að fá fram þær upplýsingar sem nauðsynlegar eru til ákvörðunartöku með sem minnstum tilkostnaði. Til að skýra þetta er tekið dæmi: Ef virkjunaraðili fær styrk frá opinberum aðilum, er mikilvægt að verja þeim styrk eða hluta hans í að gera áætlun um virkjunarkostinn, með stofnkostnaði og hagkvæmniathugun. Slík áætlun er síðan notuð til að sannfæra lánastofnanir um að virkjunarkosturinn sé góður, eða sannfæra sjálfan sig um hið gagnstæða, og geta þá hætt við án þess að sitja eftir með óyfirstíganlegar skuldir.

Í köflum 14.1, 14.2 og 14.3 hér að aftan eru settar fram leiðbeiningar um hvernig standa má að undirbúningi smávirkjana, þar sem undirbúningnum er skipt í þrjú þrep. Með hverju þrepi er aukið við nákvæmni athugana og hönnunar, en byggt á vinnu fyrri þrepa. Í viðauka 3 er gátlisti, sem byggir á þessum leiðbeiningum, og í viðauka 4 er gátlisti sem sérstaklega miðast við minnstu virkjanirnar.

Eftirfarandi listi er lauslegt yfirlit yfir þessi þrep:

1. **Frumathugun**, þar sem kannað er:

a) Vatnsrennsli, vatnasvið, staðhættir, fyrirkomulag
b) Tengimöguleikar við dreifikerfi rafveitu, ráðstöfun orku, uppsett afl
c) Eignarhald og möguleikar á samningum um vatnsréttindi ef við á
d) Stofnkostnaður og hagkvæmni (frumathugun)
Gerð samantekt og framhald metið - ef jákvætt þá þrep 2

2. **Faglegt mat á virkjunarkosti** (forhönnun og arðsemismat)

a) Vatnamælingar, kortlagning svæðisins
b) Samningsdrög við rafveitu, ráðstöfun orku tryggð
c) Forhönnun; vél- og rafbúnaður, tenging við dreifikerfi/notanda, fyrirkomulag virkjunar, mannvirki
d) Umhverfisáhrif, staðháttalýsing, skipulagsþættir, álit umsagnaraðila

e) Stofnkostnaður, söluáætlun, arðsemismat, fjármögnun
Gerð samantekt og framhald metið - ef jákvætt þá þrep 3

3. Undirbúningur framkvæmda (verkhönnun og fjármögnun)

a) Vatnamælingar staðfestar af sérfræðingum og hönnunarrennsli ákveðið
b) Samningar; við rafveitu, um orkusölu, við landeigendur og veiðiréttarhafa
c) Fullnaðarhönnun virkjunar til útboðs
d) Öflun tilboða í búnað og uppsetningu hans, öflun tilboða í byggingarhluta
e) Samningar við verktaka, framkvæmdaáætlun
f) Endurskoðun áætlana um stofnkostnað, orkusölu og arðsemi
g) Fjármögnun tryggð

14.1 Frumathugun

Í frumathugun þarf að kanna þá þætti sem mestu máli skipta um hvort grundvöllur er fyrir byggingu virkjunarinnar. Út frá frumathugun þarf að vera hægt að taka ákvörðun um hvort ástæða sé til frekari athugana. Í þessum hluta ætti að halda kostnaði í lágmarki. Helstu þættir eru eftirfarandi:

1. **Tenging við dreifikerfi:** Hafa þarf samband við viðkomandi rafveitu og kanna hvernig tengingu við dreifikerfið verður háttað og meta hvað hún kostar.
2. **Rennsli og fallhæð:** Meta þarf rennslið sem á að virkja og setja fram áætlanir um lágrennsli. Æskilegt er að gera að minnsta kosti eina rennslismælingu að vetri til. Rennslismatið er byggt á grófu mati á afrennsli miðað við fáar mælingar. Mæla þarf fallhæðina sem á að virkja.
3. **Vatnsréttindi:** Kanna þarf og gera grein fyrir eignarhaldi á vatnsréttindum og veiðiréttindum. Ef það er skipt þarf að ganga úr skugga um að samningar náist og gera grein fyrir skilmálum slíks samnings.
4. **Fyrirkomulag virkjunar:** Gera þarf frumdrög að fyrirkomulagi virkjunarinnar, á korti eða loftmynd af svæðinu. Sýna þarf staðsetningu helstu mannvirkja, svo sem stíflu, inntaks, stöðvarhúss og aðkomuvega.
5. **Staðháttarlýsing:** Lýsa þarf stuttlega staðháttum, landslagi, gróðurfari og landnotkun og hvort fyrirhugað framkvæmdasvæði liggur á eða nærri verndarsvæðum. Þannig fæst mat á því hvort einhverjar takmarkanir á landnýtingu geti haft áhrif á framkvæmdina.
6. **Ráðstöfun orku:** Gera þarf grein fyrir því hvernig ætlunin er að ráðstafa raforkunni. Það þarf að byggjast á viðtölum við tilvonandi orkukaupanda.
7. **Uppsett afl og orkusala á ári:** Setja þarf fram fyrstu hugmyndir að uppsettu afli virkjunarinnar. Einnig þarf að áætla lauslega hversu mikla raforku er gert ráð fyrir að ráðstafa á ári og hvaða raforkuverð miðað er við.
8. **Stofnkostnaður:** Leggja þarf mat á stofnkostnaðinn, út frá grófu nálgunarlíkani, sem miðast við stærð virkjunarinnar eins og gerð er grein fyrir í kafla 11.1 lið 1.
9. **Hagkvæmni:** Út frá áætluðum stofnkostnaði og raforkusölu á ári er metið lauslega hvort virkjunarkosturinn er hagkvæmur.
10. **Samantekt:** Taka þarf saman öll gögn sem eru hluti af frumathuguninni. Ákvörðun um framhaldið byggir á þessari samantekt. Hún þarf að vera það greinargóð að hægt sé að leggja hana fram til yfirferðar hjá óháðum aðilum þegar kemur að því að afla fjár til frekari athuganna.

14.2 Faglegt mat á virkjunarkosti (forhönnun og arðsemismat)

Meginmunurinn á þessari áætlun og frumathuguninni er að hér þarf að forhanna helstu hluta virkjunarinnar og treysta vatnamælingar og ráðstöfun orkunnar. Jafnframt er gert ráð fyrir að kannaðir séu mismunandi kostir sem til greina koma, þeir bornir saman og hagkvæmni metin. Auk þess að nýtast til ákvörðunar um hvort grundvöllur sé til að halda verkefninu áfram, þá nýtist þessi áætlun til frekari fjármögnunar ef niðurstöður eru jákvæðar. Helstu þættir eru eftirfarandi:

1. **Vatnamælingar:** Gera þarf drög að langæislínu sem byggir á markvissum vatnamælingum yfir tvo vetur, undir leiðsögn sérfræðinga.
2. **Tenging við dreifikerfi – ráðstöfun raforku:** Á þessu stigi þarf að gera drög að samningi um tengingu, samrekstur og sölu. Kanna þarf hvernig tengingu við rafveitu/notanda verður háttað og fá gleggri mynd af orkuverði og skilmálum um orkusölu. Gera þarf áætlun um ráðstöfun raforkunnar, hvort sem um er að ræða sölu, eigin not eða hvort tveggja. Áætla þarf raforkuframleiðslu ársins og verðmæti framleiðslunnar.
3. **Samningar:** Gera þarf samninga, sem eru nauðsynleg forsenda fyrir því að fá leyfi til að hefja framkvæmdir, svo sem við landeigendur, veiðiréttarhafa o.s.frv.
4. **Umhverfisáhrif:** Lýsa þarf hvaða þættir framkvæmdar og/eða rekstrar kunni helst að valda áhrifum á umhverfið.
5. **Gildandi skipulag:** Upplýsa þarf hvernig fyrirhuguð framkvæmd fellur að gildandi skipulagsáætlunum.
6. **Álit umsagnaraðila:** Upplýsa þarf um fyrirliggjandi álit umsagnaraðila, svo sem sveitarstjórnar, Orkustofnunar og annarra sem framkvæmdaraðili kann að hafa leitað til.
7. **Matsskylda:** Senda þarf tilkynningu til Skipulagsstofnunar sem ákvarðar hvort virkjunin skuli háð mati á umhverfisáhrifum, ef uppsett afl er meira en 100 kW. Það getur einnig átt við um minni virkjanir ef fyrirhugaðar framkvæmdir eru á verndarsvæði.
8. **Leyfi:** Afla þarf upplýsinga um þau leyfi sem virkjunarframkvæmdirnar eru háðar, og hefja undirbúning að umsóknum.
9. **Kortlagning svæðisins:** Útbúa þarf kort af svæðinu, með mælingum, loftmynd eða á annan hátt. Kanna þarf gerð landsins, jarðfræði og laus jarðlög með tilliti til stíflugerðar, vegagerðar, lagningu þrýstipípu og bygginga. Kanna þarf aðgengi að jarðefnum, svo sem sandi og möl, til stíflugerðar, bygginga og vegagerðar.
10. **Fyrirkomulag virkjunar - Forhönnun:** Setja þarf fram tillögur að fyrirkomulagi virkjunarinnar, sem byggir meðal annars á athugunum á landsvæðinu, svo sem jarðlögum og aðgengi að byggingarefnum. Sýna þarf staðsetningu helstu mannvirkja, svo sem stíflu, yfirfalls, inntaks, þrýstipípu, stöðvarhúss, frárennslis og vega. Ákvarða þarf helstu hæðarkóta. Á þessu stigi ætti að kanna hvort fleiri en ein tillaga að fyrirkomulagi kemur til greina og bera saman kostnað, hagkvæmni og umhverfisáhrif.
11. **Fallhæð og rennsli:** Setja þarf fram hönnunarforsendur um fallhæð og rennsli. Afl virkjunarinnar ákvarðast af þessum þáttum. Hönnunarrennslið er metið út frá langæislínunni. Fallhæðin miðast við hæðarmuninn frá vatnsborði í inntakslóni að vatnsborði í frárennslisskurði. Nýtanleg fallhæð ræðst svo af gerð hverfils.
12. **Mannvirki og búnaður – Forhönnun:** Forhanna þarf helstu mannvirki, svo sem stíflu, inntak, þrýstipípu og stöðvarhús. Í því felst að ákvarða form og efnisval helstu

byggingarhluta. Kanna ætti hvaða efni kemur til greina að nota, ekki síst í þrýstipípuna. Ákvarða þarf helsta vélbúnað, svo sem; hvaða gerðir hverfla koma til greina, helstu loka, þarf krana í stöðvarhúsið o.s.frv. Ákvarða þarf hvort rafali á að vera samfasa eða ósamfasa. Rafmagnsveitur ríkisins gera t.d. kröfur hvað þetta varðar, eftir stærð virkjunar. Til að fá upplýsingar um vélbúnað og rafbúnað ætti að spyrjast fyrir hjá framleiðendum og fá tæknilegar upplýsingar og viðmiðunarverð. Á þessu stigi ætti að nægja að leita til tveggja eða þriggja framleiðenda.

13. **Stofnkostnaður:** Áætla þarf stofnkostnað út frá magneiningum og skv. uppgefnum verðum á helsta vél- og rafbúnaði. Leggja þarf mat á stofnkostnaðinn eins og gerð er grein fyrir í kafla 11.1 lið 2.
14. **Arðsemi:** Út frá áætluðum stofnkostnaði, tekjum og gjöldum er lagt mat á arðsemi virkjunarinnar, eins og gert er í kafla 11.2. Rétt er að kanna áhrif mismunandi afskriftartíma og ávöxtunarkröfu og bera saman við það raforkuverð sem í boði er. Einnig þarf að bera saman tekjur og gjöld fyrstu árin.
15. **Samantekt:** Taka þarf saman í skýrslu (forhönnunarskýrsla) öll helstu gögn og niðurstöður. Þessa skýrslu þarf að vera hægt að leggja fyrir sjóði eða lánastofnanir, með það fyrir augum að fjármagna frekari vinnu, eða til að kynna verkefnið fyrir hugsanlegum samstarfsaðilum.

14.3 Undirbúningur framkvæmda (verkhönnun og fjármögnun)

Þessi hluti undirbúningsins miðast við að velja þann kost sem hagstæðastur er skv. forhönnunarskýrslu og hanna hann það ítarlega, að á þeim grundvelli sé hægt að taka ákvörðun um að lána til verksins og hefja framkvæmdir. Helstu þættir eru eftirfarandi:

1. **Vatnamælingar:** Halda þarf vatnamælingum áfram og gera langæislínu sem byggir á vatnamælingum sem eru taldar fullnægjandi af sérfræðingum.
2. **Tenging við dreifikerfi – ráðstöfun raforku:** Á þessu stigi þarf að gera samning við rafveitu um tengingu og sölu raforku frá viðkomandi virkjun. Þar þarf meðal annars að koma fram verð raforku, áætluð raforkusala á ári, rafafl sem tryggt er og ákvæði um afhendingaröryggi. Uppfæra þarf áætlun um ráðstöfun raforkunnar, sem gerð var á forhönnunarstigi. Gera þarf einlínumynd af raftengingu við rafveituna. Í viðauka 2 er sýnt dæmi um samning við Rafmagnsveitur ríkisins.
3. **Kortlagning svæðisins:** Yfirfara þarf hvort þau gögn og athuganir sem gerðar voru vegna forathugunar eru nægjanleg og bæta úr eftir þörfum. Gera nákvæmari landmælingar eftir þörfum.
4. **Fyrirkomulag virkjunar:** Á þessu stigi er valin sú tilhögun virkjunarinnar sem talin er álitlegust af þeim sem kannaðar voru við forhönnun (ef um slíkt er að ræða). Gera þarf glögga grein fyrir fyrirkomulagi virkjunarinnar, á teikningum og með lýsingu. Sýna þarf nákvæma staðsetningu, stærð og hæðarkóta mannvirkja, svo sem stíflu, yfirfalls, inntaks, þrýstipípu, stöðvarhúss, frárennslis og vega. Taka þarf tillit til staðbundinna þátta eins og álags vegna mestu flóða, aurburðar, stöðugleika jarðlaga, jarðskjálfta, vinds og snjóa. Einnig þarf að taka tillit til krapamyndunar og grunnstinguls.

5. **Mannvirki og búnaður:** Hanna þarf mannvirki og búnað það ítarlega að hægt sé að áætla efnismagn með nokkurri nákvæmni og afla tilboða. Í því felst að ákvarða gerð, form og efni helstu byggingarhluta, svo sem :
   - Gerð(ir) hverfils sem hagstæðust er með tilliti til fallhæðar, rennslis, og keyrslu við hlutaálag. Æskilegt er ef hægt er að ákveða hvort hverfillinn verður spyrnuhverfill eða gagnspyrnuhverfill, en nýtanleg fallhæð ræðst af því.
   - Uppfæra þarf og fastsetja hönnunargildi rennslis og fallhæðar. Það er gert út frá fullgerðum vatnamælingum og nákvæmari landmælingum, ásamt ítarlegri hönnun mannvirkja.
   - Þvermál og efnisgerð þrýstipípu.
   - Staðsetningu, stærð og gerð helstu loka.
   - Fyrirkomulag inntaks ásamt stærð og gerð inntaksrista.
   - Gerð krana í stöðvarhúsið, ef hafa þarf krana.
   - Kennitölur rafala; afköst (kVA), spenna, aflstuðull.
   - Einlínumynd af rafbúnaði virkjunarinnar frá rafala til notanda.
   - Lýsing og/eða teikning þar sem gerð er grein fyrir því hvernig virkjuninni verður stjórnað.

   Til að fá gleggri upplýsingar um vélbúnað og rafbúnað, þarf að endurtaka fyrirspurn til framleiðenda og fá tæknilegar upplýsingar og verð, miðað við nýjar og nákvæmari forsendur. Hugsanlega ætti að leita til fleiri framleiðenda í þetta sinn.
6. **Leyfi:** Afla þarf allra nauðsynlegra leyfa, eða tryggja að tilskilin leyfi fáist, sem þarf til að byggja og reka virkjunina.
7. **Fjármögnun:** Tryggja þarf fjármögnun verkefnisins. Eðlilegt er að leggja fram forhönnunarskýrsluna þegar leitað er eftir vilyrðum fyrir lánum, styrkjum og samstarfsaðilum ef um það er að ræða. Fjármögnunaráætlunin þarf að taka mið af ýmsum þáttum, svo sem:
   - Hvaða lán er gert ráð fyrir að taka. Hver eru lánakjörin og hverjar eru forsendurnar fyrir lánunum, svo sem um arðsemi og veð.
   - Hversu hátt hlutfall er eigið framlag og í hverju er það fólgið.
   - Er gert ráð fyrir samstarfsaðilum og þá á hvaða sviði.
   - Hvaða styrkir hafa fengist til verksins og hvaða styrki er gert ráð fyrir að fá til viðbótar.
8. **Framkvæmdaáætlun:** Gera þarf framkvæmdaáætlun fyrir byggingu virkjunarinnar, þar sem áætlaður er og sundurliðaður verktími helstu þátta. Helstu þættir áætlunarinnar gætu verið: Ákvörðun um framkvæmdir, undirbúningur, útboð og samningar, jarðvinna, vegagerð, mannvirki, vél- og rafbúnaður, tenging við dreifikerfi, úttektir, prófanir og rekstur. Upphaf og endir framkvæmdaáætlunarinnar ætti að miðast við ákvörðun um að hefja framkvæmdir annars vegar og hvenær virkjunin er komin í rekstur hins vegar.
9. **Stofnkostnaður:** Áætla þarf stofnkostnað út frá uppfærðum magneiningum og skv. kostnaðartölum framleiðenda í helsta vél- og rafbúnað. Leggja þarf mat á stofnkostnaðinn eins og gerð er grein fyrir í kafla 11.1 lið 3. Tiltaka ætti áfallinn kostnað vegna undirbúnings og áætlunargerðar.

10. **Arðsemi:** Út frá áætluðum stofnkostnaði, gjöldum og samningum um raforkusölu er lagt mat á arðsemi virkjunarinnar, á sama hátt og gert er í kafla 11.2. Á þessu stigi ætti að liggja fyrir hvernig fjármögnun verður háttað, þ.e. hlutfall eigin framlags, styrkja og lánsfjár. Einnig ætti að liggja fyrir hvaða lánakjör fást. Bera þarf saman tekjur og gjöld fyrstu árin, miðað við uppfærðar áætlanir.
11. **Samantekt:** Taka þarf saman helstu niðurstöður og gögn í skýrslu. Á þessari skýrslu byggist ákvörðun um að hefja framkvæmdir. Hún er grundvöllur þess að afla fjár til framkvæmda, og til að kynna verkefnið fyrir hugsanlegum samstarfsaðilum.

HEIMILDIR OG ÍTAREFNI

American Society of Mechanical Engineers (ASME) - Hydro Power Technical Committee. *The Guide to Hydropower Mechanical Design*. HCI Publications, Kansas City 1996.

Arnar Pálsson, Kristinn Steinn Traustason. *Smávirkjanir*. Lokaverkefni í rafiðnfræði við Tækniskóla Íslands 2000. www.rafteikning.is/pdf_skjol/isl_pdf_skjol/smavirkjanir.pdf. Skoðað í október 2002.

Atli Gunnar Arnórsson, Fjalar Hauksson, Jón Snæbjörnsson, Reynir Sævarsson og Þorgeir Ó. Margeirsson. *Handbók um undirbúning smávirkjana*. Verkefni unnið við Háskóla Íslands, Umhverfis- og byggingarverkfræðiskor 2001. www.hi.is/~jonsn/verkefni.html. Skoðað í október 2002.

Ágúst Halblaub. *Vatnsaflsstöðvar fyrir sveitabæi á Íslandi*. Rafmagnsveitur ríkisins, 1982.

Engineers from The Swedish Power Association, Vattenfall, Skanska, VBB. *Hydro Power in Sweden*. The Swedish Power Association and The Swedish State Power Board, Stockholm 1981.

Fiona Weightman (ritstjóri). *Guidelines for Renewable Energy Developments – Small Hydro*. Energy Efficiency and Conservation Authority. Wellington, New Zealand 1996.

Gjermundrød, Knut. *Veiledning i planlegging av mikro- og minikraftverk* (5. útgáfa). Norges Vassdrags- og Energiverk 1993.

Gulliver, John S. and Roger E.A. Arndt (ritstjórar). *Hydropower Engineering Handbook*. McGraw-Hill, Inc., New York 1991.

Heinrich Press. *Wasserkraftwerke*. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1967.

Hjálmar Árnason, Stefán Guðmundsson, Ólafur Eggertsson, Drífa Hjartardóttir og Helga Tulinius. *Raforkubændur- hagkvæmni, tækni, möguleikar*. Iðnaðar- og viðskiptaráðuneyti, Reykjavík 2000.

Iðnaðar- og viðskiptaráðuneyti. Upplýsingar ráðgjafarnefndar um byggingu smárra vatnsaflsvirkjana, 2000. www.idnadarraduneyti.is. Skoðað í október 2002.

Jack J. Fritz. *Small and Mini Hydropower Systems. Resource Assessment & Project Feasibility*. McGraw-Hill Book Company, New York 1984.

Joachim Raabe. *Hydraulische maschinen und anlage, teil 2 – Wasserturbinen*. VDI-Verlag, Düsseldorf 1970.

Joachim Raabe. *Hydraulische maschinen und anlage, teil 4 – Wasserkraftanlagen*. VDI-Verla, Düsseldorf 1970.

Jóna Finndís Jónsdóttir og Kristinn Einarsson. *Leiðbeiningar um mælingar á vatnsrennsli í smáám og lækjum.* Vatnamælingar Orkustofnunar, 2002. www.os.is. Skoðað í október 2002.

Midtre Gauldal Kommune. *Miljøtilpasset elkraftsproduksjon ved små vannkraftverk i disktriks-Norge*. Del 2-Vedlegg, 2001.

Moe, John; Knut E. Norén, Lars Knutzen og Berdal Strømme. *Varegrinder Falltapsreduksjon og Driftsbedring. Et delprosjekt i EFFEN-programmet.* (67. útgáfa). Energiforsyningens Fellesorganisasjon (ENFO), 1991.

Penche, Celso. *Layman's guidebook on how to develop a small hydro site* (2. útgáfa.). Commission of the European Communities, Brussel 1998.

Ramos, Helena. *Guidelines for Design of Small Hydropower Plant*. WREAN (Western Regional Energy & Network) and DED (Department of Economic Development), Belfast 2000.

Rian, Åshild, Ole G. Dahlhaug og Anna Louise Martinsen. Kap. 3: Potensiale Í Midtre Gauldal Kommune. *Miljøtilpasset el-kraftsproduksjon ved små vannkraftverk i disktriks-Norge.* Del 1-Hovedrapport, 2001.

Sigurjón Rist. *Vatns er þörf.* Bókaútgáfa Menningarsjóðs, Reykjavík 1990.

Skipulagsstofnun. *Mat á umhverfisáhrifum. Leiðbeiningarrit Skipulagsstofnunar um mat á umhverfisáhrifum framkvæmda skv. lögum nr. 106/2000*. Drög 12. júní 2002. Skipulagsstofnun, Reykjavík 2002.

Staffan Engström. *Små vattenkraftverk*. Ingenjörsforlaget, Stockholm 1983.

Samorka, samtök raforku-, hita- og vatnsveitna. *Tæknilegir tengiskilmálar raforkudreifingar –TTS-2001.* Reykjavík 2001. www.samorka.is. Skoðað í október 2002.

Löggildingarstofa. *Verklagsregla VLR-1: Öryggisstjórnun rafveitna, iðjuvera og einkarafstöðva.* VLR-1, 01, 1998. www.ls.is. Skoðað í október 2002.

Zu-yan, Mei (ritstjóri). *Mechanical Design and Manufacturing of Hydraulic Machinery.* University Press, Cambridge 1991.

Þorbjörn Karlsson. *Straumvélar*. Kennslugögn við Háskóla Íslands, 1981.

Þorgeir Örlygsson og Kristín Haraldsdóttir. Nýja raforkulagafrumvarpið. María J. Gunnarsdóttir (ritstjóri). *Orkuþing 2001-Orkumenning á Íslandi. Grunnur til stefnumótunar.* Erindi og veggspjöld á Orkuþingi. Samorka, Reykjavík 2001.

Þorleifur Einarsson. *Myndun og mótun lands. Jarðfræði*. Mál og menning, Reykjavík 1991.

Þórólfur Árnason. *Rafvæðing í Vestur-Skaftafellssýslu*. Grein í Dynskógar, rit Vestur-Skaftfellinga. Vík, 1983.

Viðauki I Stefna RARIK í viðskiptum við smávirkjanir

Stefna RARIK í viðskiptum við smávirkjanir

Það er markmið RARIK að afla og dreifa raforku á sem hagkvæmastan og öruggastan hátt.

Orkukaup af smávirkjunum taka því ávallt mið af hagkvæmni og mega ekki valda hækkun á orkuverði til þeirra sem kaupa orku af Rafmagnsveitum ríkisins, hvorki vegna orkuvinnslu eða dreifingar, né skerts afhendingaröryggis. Með hliðsjón af því er meginstefna Rafmagnsveitna ríkisins í viðskiptum við smávirkjanir eftirfarandi:

A. Allur kostnaður af tengingu smávirkjunar við fyrirliggjandi dreifikerfi greiðist af virkjunaraðila sem tengigjald.
B. Árlegur rekstrarkostnaður af tengingu smávirkjana greiðist af þeim ef tenging þeirra leiðir ekki til sambærilegs sparnaðar annars staðar í kerfinu.
C. Orkukaup af smávirkjun verða að leiða til að minnsta kosti sambærilegs sparnaðar í orkukaupum af öðrum orkusölum.
D. Búnaður virkjunar og samrekstur hennar við kerfi RARIK skal vera samkvæmt kröfum Löggildingarstofu og uppfylla tæknilega tengiskilmála og tengireglur RARIK.

Til nánari útfærslu hafa Rafmagnsveitur ríkisins sett eftirfarandi skilmála og viðskiptareglur um tengingu smávirkjana:

1. Til smávirkjana í reglum þessum teljast virkjanir allt að 300 kW.
2. Rafmagnsveitur ríkisins kaupa orku af smávirkjunum og tengja þær við dreifikerfið þar sem fyrir hendi er þriggja fasa dreifikerfi sem ræður við viðkomandi virkjun.
3. Viðkomandi virkjun greiðir allan kostnað af tengingu við dreifikerfið.
4. Verði að styrkja fyrirliggjandi dreifikerfi vegna smávirkjunar greiðir viðkomandi virkjun þann kostnað að því marki sem styrkingin nýtist ekki öðrum.
5. Virkjanir minni en 50 kW skulu vera með ósamfasa rafala, virkjanir 50 til 100 kW geta verið ósamfasa eða samfasa en virkjanir stærri en 100 kW skulu vera með samfasa rafala og gangráð sem ræður bæði við samrekstur við net og við það að virkjunin sé keyrð sjálfstæð.
6. Tengibúnaður, tengifyrirkomulag og samrekstur skal vera samkvæmt kröfu Löggildingarstofu og uppfylla tæknilega tengiskilmála og tengireglur Rafmagnsveitna ríkisins.
7. Í núverandi lagaumhverfi miðast greiðslur fyrir keypta orku af smávirkjun við gjaldskrá Landsvirkjunar (LV), sem er leiðandi orkuverð á markaði í dag, og af áreiðanleika orkuafhendingarinnar. Samkvæmt þessu eru greiðslur fyrir afl og orku eftirfarandi:

   Fyrir áskriftarafl, tryggt afl að frádregnu yfirafli, greiðist aflgjald LV og refsigjöld greiðast fyrir vanefndir.

   Fyrir vetrarorku greiðist vetrarorkuverð LV fyrir orku sem er innan umsamins markafls (áskrift + yfirafl).

   Fyrir sumarorku greiðist sumarorkugjald LV fyrir orku sem er innan umsamins markafls.

Önnur orka, sem ekki er afltrygging fyrir, er í eðli sínu ótryggð orka. RARIK mun þó fyrst um sinn greiða sama verð fyrir hana og tryggða orku.

Ofangreind verð miðast við samfasa virkjun sem getur keyrt sjálfstætt. Fyrir orku frá öðrum virkjunum greiðist 5% lægra verð þar sem þær eru ekki sjálfstæðar framleiðslueiningar.

8. Orka sem virkjunaraðili kaupir af Rafmagnsveitum ríkisins til eigin nota í kerfi sem tengist virkjuninni er seld á almennum taxta A1 og launorka til ósamfasa virkjana er seld samkvæmt gjaldskrá Rafmagnsveitna ríkisins.

Í nýju umhverfi verða verulegar breytingar, meðal annars:

- Í nýju lagaumhverfi er að því stefnt að innmötunargjald frá smávirkjunum inn á dreifikerfið verði sambærilegt við innmötunargjald frá stærri virkjunum sem mata inn á flutningskerfið.
- Í nýju lagaumhverfi mun orkuverð til smávirkjana ráðast af markaðsverði raforku til framleiðenda á hverjum tíma.
- Í núverandi orkuverði LV er innifalinn flutningskostnaður, því eru allar líkur á að orkuverð til framleiðenda lækki til muna í nýju umhverfi og raforkuverð verður sveiflukennt eins og á annarri markaðsvöru.
- Í núverandi umhverfi hafa smávirkjanir getað selt alla framleiðslu sína. Í nýju umhverfi verður raforka markaðsvara, en engin trygging er fyrir því að öll orka seljist.

RARIK leggur áherslu á að væntanlegir virkjanaaðilar hafi samband við fyrirtækið sem allra fyrst í undirbúningsferlinu.

VIÐAUKI II - Dæmi um samninga við Rafmagnsveitur Ríkisins

Samningur um orkuviðskipti og samrekstur (1)

Rafmagnsveitur ríkisins, kt. 520269-2669, hér á eftir nefndar RARIK, og xxxxxxxxxxxxxx, kt. xxxxxx-xxxx, xxxxxxxxxxxxxxxx, xxxxxxxxxxxxx, hér á eftir nefnd virkjunaraðili, gera með sér svofelldan samning um orku-viðskipti þar sem: virkjunaraðili er eigandi virkjunarmannvirkja og allra vatnsréttinda sem virkjunin nýtir og RARIK er orkufyrirtæki sem vinnur, flytur, dreifir og selur orku á orkuveitusvæði sínu:

1. Umfang samnings

a. Samningur þessi tekur til kaupa RARIK á allri raforkuvinnslu í nýrri virkjun virkjunaraðila, xxxxxxxxxxxxxxxxxx, utan eigin notkunar til reksturs virkjunarinnar.

b. Virkjunaraðila er óheimilt að selja öðrum aðila en RARIK orku frá virkjuninni.

c. Samningurinn tekur einnig til sölu RARIK á raforku til virkjunaraðila, ef bilun verður í virkjuninni.

d. Í samningi þessum er fjallað um tengingu virkjunar virkjunaraðila, sem er xxx kW samfasa virkjun í xxxx, við dreifikerfi RARIK og uppsetningu og rekstur á tengi- og mælabúnaði.

2. Afhendingarstaður

Afhendingarstaður raforkunnar er 0,4 kV aflrofi í stöðvarhúsi virkjunar.

3. Tenging virkjunar við kerfi RARIK

a) RARIK setur upp allan nauðsynlegan búnað til tengingar RARIK-kerfisins við afhendingarstað. Virkjunaraðili skal greiða allan kostnað við þessa tengingu, samkvæmt bindandi tilboði frá RARIK, sem er fylgiskjal 1 með samningi þessum. RARIK ber allan rekstrarkostnað þessa kerfishluta.

b) Til að tryggja að við rekstrartruflanir á virkjuninni eða RARIK-kerfinu rofni virkjunin frá netinu ábyrgist virkjunaraðili að eftirfarandi varnarbúnaður sé fyrir hendi: yfirstraums-/skammhlaupsvörn; jarðstraums-/jarðhlaupsvörn; undir-/yfirtíðnivörn og undir-/yfirspennuvörn. Samningur þessi tekur ekki gildi og tenging við kerfi RARIK er óheimil fyrr en skýrsla um úttekt Löggildingarstofu hefur borist RARIK og að allar kröfur um úrbætur séu uppfylltar og staðfestar samkvæmt reglum Löggildingarstofu.

c) Samningsaðilar tilnefna ábyrgðarmenn og hafa samráð eins og fram kemur á fylgiskjali 3 með samningi þessum. Um breytingar á ábyrgðarmönnum, rofastjóra eða mönnun bakvakta skal hvor aðili tilkynna hinum skriflega og skulu þau gögn geymd með frumriti samnings.

4. Mælabúnaður

a) RARIK setur upp og rekur allan nauðsynlegan mælabúnað vegna viðskiptanna. Stofnkostnaður vegna þessa er xxxxxx kr. (án vsk) og greiðist af virkjunaraðila.

b) Virkjunaraðili leggur til aðstöðu fyrir þann búnað, sem þarf að vera í húsi, RARIK að kostnaðarlausu.

5. Orkukaup RARIK

Með gildistöku nýrra raforkulaga má ætla að veruleg breyting verði á viðskiptaumhverfi raforku og orkuverð muni ráðast af markaðsaðstæðum á hverjum tíma. Fram að þeim tíma gildir eftirfarandi:

a) RARIK greiðir áskriftaraflgjald, vetrarorkugjald, sumarorkugjald og gjald fyrir ótryggða orku (sbr. grein 5 e) samkvæmt einingarverðum gjaldskrár Landsvirkjunar, eins og hún er við undirskrift samnings þessa, og skulu þau síðan taka sömu breytingum og verða kunna á gjaldskránni.

b) Til viðbótar áskriftarafli skal virkjunaraðili afhenda kaupanda yfirafl í sömu hlutföllum (febrúar 2003: 16,29%) og við sama verði og í gildi er á hverjum tíma í viðskiptum RARIK og Landsvirkjunar. Markafl er summa áskriftarafls og yfirafls á hverjum tíma.

c) Alla daga á tímabilinu frá og með 1. nóvember til og með 31. mars, frá kl. 07.30 til kl. 22.00, ber virkjunaraðila að lágmarki að afhenda markafl. Það sem á kann að skorta, skortorkan, er sú orka, sem á vantar að markafl hafi verið afhent. Í upphafi hvers mánaðar skal RARIK senda virkjunaraðila skýrslu með sundurliðun á skortorku fyrri mánaðar.

d) Fyrir skortorku ber virkjunaraðila að greiða skortorkugjald, sem nemi útreiknuðu framleiðslukostnaðarverði í dísilvélum RARIK. Útreikningur á gjaldi þessu er fylgiskjal 2 með samningi þessum. Skortorkugjaldið skal koma til lækkunar áskriftaraflgjaldi viðkomandi mánaðar.

e) Fyrir orku innan markafls greiðist eftir atvikum vetrarorkugjald eða sumarorkugjald. Fyrir orku afhenta umfram fullnýtt markafl innan almanaksmánaðar greiðist eftir atvikum vetrarorkugjald eða sumarorkugjald fram til 1.10.2003, en frá og með þeim tíma greiðist fyrir orkuna samkvæmt gjaldskrá Landsvirkjunar fyrir ótryggða orku, 1. verðþrep.

f) Áskriftarafl er xxx kW.

g) Fyrir mælingu greiðir virkjunaraðili árlegt fastagjald samkvæmt taxta RARIK fyrir aflmælingu eins og hann er á hverjum tíma.

h) Verði formbreytingar á gjaldskrá Landsvirkjunar, af hvaða ástæðum sem þær kunna að stafa, skulu samningsaðilar taka alla 5. grein samnings þessa til endurskoðunar.

6. Orkusala RARIK

a) Fyrir aðgengi að RARIK-kerfinu sem varaafli greiðir virkjunaraðili RARIK fastagjald samkvæmt taxta fyrir almenna notkun, eins og hann er á hverjum tíma.

b) Fyrir mælda orkusölu greiðir virkjunaraðili RARIK orkugjald samkvæmt taxta fyrir almenna notkun, eins og hann er á hverjum tíma.

7. Greiðslur

a) Varðandi orkusölu RARIK gildi allar sömu reglur og um önnur smásöluviðskipti RARIK.

b) Fyrir keypta orku skal RARIK greiða mánaðarlega samkvæmt mælingu.

c) Fyrir áskriftaraflgjald skal RARIK greiða mánaðarlega 1/12 hluta árgjalds, sbr. þó grein 5 d), sem kemur til frádráttar.

d) Við gjaldskrárbreytingar skulu þær mánaðargreiðslur, sem ekki eru fallnar í gjalddaga, taka sömu hlutfallslegu breytingum og gjaldskráin.

e) Mánaðargreiðslur fyrir janúar falla í gjalddaga síðasta dag febrúar og þannig koll af kolli fyrir aðra mánuði.

f) Ef ekki er greitt á gjalddaga reiknast fullir vanskilavextir frá honum eins og Seðlabanki Íslands ákveður þá hverju sinni.

8. Gildistími og fleira

a) Samningur þessi tekur gildi að uppfylltum kröfum í grein 3 b) og gildir þar til að ný raforkulög taka gildi en fellur þá úr gildi án uppsagnar. Samningsaðilar stefna þó að langtímaviðskiptum.

b) Samningur þessi er uppsegjanlegur að beggja hálfu með 6 mánaða fyrirvara til að falla úr gildi um næstu áramót. Samningsaðilum er þó, án uppsagnar, heimilt að óska eftir endurskoðun á grein 5 f) varðandi áskriftarafl. Slík endurskoðun er háð samþykki beggja aðila og skal lokið fyrir 1. október vegna viðskipta á því ári, sem í hönd fer.

c) Eftirfarandi gögn um forsendur samningsins skulu liggja fyrir við undirritun hans og vera fylgiskjöl hans: Fylgiskjal 4 um vatnamælingar, fylgiskjal 5 með framkvæmdaáætlun fyrir virkjunina, fylgiskjal 6 með söluáætlun fyrir virkjunina, fylgiskjal 7 með einlínumynd af kerfi virkjunaraðila og tengingu þess við kerfi RARIK og fylgiskjal 8 með staðfestingu byggingaryfirvalda.

d) Samningur þessi er gerður í tveimur samhljóða eintökum, einu handa hvorum aðila, og skal hvort um sig teljast fullgilt frumrit samningsins.

9. Deilumál

Mál út af samningi þessum skal reka fyrir Héraðsdómi Reykjavíkur.

Reykjavík, xx.xx xxxx

F. h. virkjunaraðila F.h. Rafmagnsveitna ríkisins

_____ _____

_____ _____

Vottar:

_____ _____

Samþykki þinglýstra eigenda vatnsréttinda ef aðrir en virkjunaraðili:

_____

_____

_____

Fylgiskjöl með samningi þessum:

Fylgiskjal 1: Bindandi tilboð frá RARIK vegna tengingar við RARIK-kerfi
Fylgiskjal 2: Framleiðsluverð í dísilvélum RARIK
Fylgiskjal 3: Samrekstur
Fylgiskjal 4: Vatnamælingar
Fylgiskjal 5: Framkvæmdaáætlun
Fylgiskjal 6: Söluáætlun
Fylgiskjal 7: Einlínumynd af kerfi virkjunaraðila og tengingu þess við kerfi RARIK
Fylgiskjal 8: Staðfesting byggingaryfirvalda

Samningur um orkuviðskipti og samrekstur (2)

Rafmagnsveitur ríkisins, kt. 520269-2669, hér á eftir nefndar RARIK, og xxxxxx xxxxxxxxx, kt. xxxxxx-xxxx, xxxxxxxxxxxx, xxxxxxxxxxxxxxxx, hér á eftir nefndur virkjunaraðili, gera með sér svofelldan samning um orkuviðskipti þar sem: virkjunaraðili er eigandi virkjunarmannvirkja og allra vatnsréttinda sem virkjunin nýtir og RARIK er orkufyrirtæki sem vinnur, flytur, dreifir og selur orku á orkuveitusvæði sínu.

1. Umfang samnings

a) Samningur þessi tekur til kaupa RARIK á orku frá ósamfasa rafala í virkjun virkjunaraðila xxxxxxxxxx og sölu RARIK á launorku. Samningurinn tekur einnig til sölu RARIK á raforku ef bilun verður í virkjuninni eða hún annar ekki orkuþörf virkjunaraðila.

b) Virkjunaraðila er óheimilt að selja öðrum aðila en RARIK orku frá virkjuninni, nema að skriflegt leyfi frá RARIK liggi fyrir.

c) Í samningi þessum er fjallað um tengingu virkjunar við dreifikerfi RARIK og uppsetningu og rekstur á tengi- og mælabúnaði.

2. Afhendingarstaður

Afhendingarstaður raforkunnar er á 0,4 kV í aðaltöflu virkjunaraðila.

3. Tenging virkjunar við kerfi RARIK

a) RARIK setur upp allan nauðsynlegan búnað til tengingar RARIK-kerfisins við afhendingarstað. Virkjunaraðili skal greiða allan kostnað við þessa tengingu, samkvæmt bindandi tilboði frá RARIK, sem er fylgiskjal 1 með samningi þessum. RARIK ber allan rekstrarkostnað þessa kerfishluta.

b) Til að tryggja að við rekstrartruflanir á virkjuninni eða RARIK-kerfinu rofni virkjunin frá netinu ábyrgist virkjunaraðili innsiglaðan varnarbúnað sem tryggi þetta rof. Samningur þessi tekur ekki gildi og tenging við kerfi RARIK er óheimil fyrr en skýrsla um úttekt Löggildingarstofu hefur borist RARIK og að allar kröfur um úrbætur séu uppfylltar og staðfestar samkvæmt reglum Löggildingarstofu.

c) Samningsaðilar tilnefna ábyrgðarmenn og hafa samráð eins og fram kemur á fylgiskjali 2 með samningi þessum. Um breytingar á ábyrgðarmönnum, rofastjóra eða mönnun bakvakta skal hvor aðili tilkynna hinum skriflega og skulu þau gögn geymd með frumriti samnings.

4. Mælabúnaður

a) RARIK setur upp og rekur allan nauðsynlegan mælabúnað í aðaltöflu vegna viðskiptanna. Stofnkostnaður vegna þessa er xxx.xxx kr. (án vsk) og greiðist af virkjunaraðila.

b) Virkjunaraðili leggur til aðstöðu fyrir þann búnað, sem þarf að vera í húsi, RARIK að kostnaðarlausu.

5. Orkuviðskipti

Með gildistöku nýrra raforkulaga má ætla að veruleg breyting verði á viðskiptaumhverfi raforku og orkuverð muni ráðast af markaðsaðstæðum á hverjum tíma. Fram að þeim tíma gildir eftirfarandi:

a) Fyrir mælda raunorku inn á RARIK-kerfið greiðir RARIK 95% af vetrarorkugjaldi og 95% af sumarorkugjaldi samkvæmt einingarverðum gjaldskrár Landsvirkjunar, eins og hún er við undirskrift samnings þessa, og skulu þau síðan taka sömu breytingum og verða kunna á gjaldskránni. Frá og með 1.10.2003 verður sú breyting á að fyrir orkuna greiðist samkvæmt gjaldskrá Landsvirkjunar fyrir ótryggða orku, 1. verðþrep.

b) Fyrir mælda raunorku út af RARIK-kerfinu greiðir virkjunaraðili orkugjald og fastagjald samkvæmt taxta RARIK fyrir almenna notkun, eins og hann er á hverjum tíma.

c) Fyrir mælda launorku út af kerfi RARIK greiðir virkjunaraðili 0,108 kr/kVArh á vetrartíma (október–apríl) og 0,055 kr/kVArh á sumartíma. Þessi verð skulu taka sömu hlutfallslegu breytingum og orkuverð Landsvirkjunar samanber grein 5 a). Taki RARIK upp gjald fyrir mælda launorku í gjaldskrá sína skulu launorkuviðskiptin verða samkvæmt þeirri gjaldskrá frá þeim tíma sem hún tekur gildi.

d) Fyrir mælingu greiðir virkjunaraðili árlegt fastagjald samkvæmt taxta RARIK fyrir aflmælingu eins og hann er á hverjum tíma.

e) Verði formbreytingar á gjaldskrá Landsvirkjunar, af hvaða ástæðum sem þær kunna að stafa, skulu samningsaðilar taka 5. grein samnings þessa til endurskoðunar.

6. Greiðslur

a) Varðandi orkusölu RARIK gildi allar sömu reglur og um önnur smásöluviðskipti RARIK.

b) Fyrir keypta orku skal RARIK greiða mánaðarlega samkvæmt mælingu.

c) Orkureikningur hvers mánaðar fellur í gjalddaga síðasta dag næsta mánaðar og þannig koll af kolli fyrir aðra mánuði.

d) Ef ekki er greitt á gjalddaga reiknast fullir vanskilavextir frá honum eins og Seðlabanki Íslands ákveður þá hverju sinni.

7. Gildistími og fleira

a) Samningur þessi tekur gildi að uppfylltum kröfum í grein 3 b) og gildir þar til að ný raforkulög taka gildi en fellur þá úr gildi án uppsagnar. Samningsaðilar stefna þó að langtímaviðskiptum.

b) Samningur þessi er uppsegjanlegur að beggja hálfu með 6 mánaða fyrirvara til að falla úr gildi um næstu áramót.

c) Eftirfarandi gögn um forsendur samningsins skulu liggja fyrir við undirritun hans og vera fylgiskjöl hans: Fylgiskjal 3 um vatnamælingar, fylgiskjal 4 með framkvæmdaáætlun fyrir virkjunina, fylgiskjal 5 með söluáætlun fyrir virkjunina, fylgiskjal 6 með einlínumynd af kerfi virkjunaraðila og tengingu þess við kerfi RARIK og fylgiskjal 7 með staðfestingu byggingaryfirvalda.

d) Samningur þessi er gerður í tveimur samhljóða eintökum, einu handa hvorum aðila, og skal hvort um sig teljast fullgilt frumrit samningsins.

8. Deilumál

Mál út af samningi þessum skal reka fyrir Héraðsdómi Reykjavíkur.

Reykjavík, xx.xx xxxx

F. h. virkjunaraðila F.h. Rafmagnsveitna ríkisins

_____ _____

_____ _____

Vottar:

_____ _____

Samþykki þinglýstra eigenda vatnsréttinda ef aðrir en virkjunaraðili:

_____

_____

_____

Fylgiskjöl með samningi þessum:

Fylgiskjal 1: Bindandi tilboð frá RARIK vegna tengingar við RARIK-kerfi
Fylgiskjal 2: Samrekstur
Fylgiskjal 3: Vatnamælingar
Fylgiskjal 4: Framkvæmdaáætlun
Fylgiskjal 5: Söluáætlun
Fylgiskjal 6: Einlínumynd af kerfi virkjunaraðila og tengingu þess við kerfi RARIK

VIÐAUKI III - Gátlistar

GÁTLISTI 1 – FRUMATHUGUN

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
1.1	Virkjunarstaður valinn – á korti og/eða með vettvangsskoðun	2.3			
1.2	Hafa samband við rafveitu og kanna möguleika á og kostnað við tengingu við dreifikerfið	7, 7.2			
1.3	Kanna eignarhald á vatnsréttindum og veiðiréttindum og tryggja að samningar náist	12			
1.4	Vatnamælingar • Hafa samband við Orkustofnun vegna vatna-mælinga • Hvað einkennir vatnsfallið, lindá eða dragá? • Rennslisvirkjun eða miðlun • Meta vatnsrennsli, áætla lágrennsli. Ein vetrarmæling æskileg	4.2 3, 4.2, 3.1 3.2 2.1.3 4.2, 13			
1.5	Fyrirkomulag • Setja fram frumdrög að fyrirkomulagi virkjunar á korti eða loftmynd • Mæla fallhæð	2.2 3.2			
1.6	Kanna staðhætti, s.s. landfræðilega legu, aðgengi, nálægð við vegi, náttúrufar, landnotkun og hvort virkjunin er á verndarsvæði	2, 4, 8			
1.7	Hvernig verður orkunni ráðstafað; eigin not og/eða samningur við rafveitu	7			

GÁTLISTI 1 – FRAMHALD

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
1.8	Gera áætlun um uppsett afl, hversu mikilli raforku verður ráðstafað og verð	3.3, 3.4			
1.9	Leggja lauslegt mat á stofnkostnað	11.1			
1.10	Kanna hagkvæmni út frá áætluðum stofnkostnaði og raforkusölu	11.2			
1.11	Gera samantekt til ákvörðunar um framhald og til yfirferðar hjá óháðum aðilum við fjáröflun framhalds	11.3, 14.1			
1.12	Ef virkjunarkostur er talinn hagkvæmur þá er haldið á næsta þrep undirbúnings, sem er faglegt mat á virkjunarkosti. Annars er hætt við virkjun				

GÁTLISTI 2 – FAGLEGT MAT Á VIRKJUNARKOSTI

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
2.1	Vatnamælingar treystar undir leiðsögn sérfræðinga • Mæla þarf rennslið í a.m.k. tvo vetur • Drög að langæislínu út frá vatnamælingum	3, 3.1, 4.2			
2.2	Samningsdrög við rafveitu um tengingu og orkusölu • Tenging við dreifikerfi • Áætlun um samrekstur og sölu raforku • Áætlun um árs raforkuframleiðslu	7, [V1], [V2] 7.2 7.1			
2.3	Samningar gerðir við landeigendur og veiðiréttarhafa ef við á	12			
2.4	Kanna samræmi við gildandi skipulagsáætlanir	9.2.3			
2.5	Fá álit umsagnaraðila ef við á, dæmi: • Sveitarstjórn – skipulag og landnotkun • Orkustofnun - vatnamælingar • Náttúruvernd ríkisins – verndarsvæði • Veiðimálastjóri – athuga hvort þarf að tryggja lágmarksrennsli t.d. ef hætta er á áhrifum á lífríki vatnsins	9 9.2.3 4.2, 9.2.4 9.2.7 9.2.8			
2.6	Kanna umhverfisáhrif framkvæmda og hvort Skipulagsstofnun hefur fjallað um matsskyldu virkjunarinnar (>100 kW eða á verndarsvæði)	10.2			

GÁTLISTI 2 – FRAMHALD

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
2.7	Ef virkjunin er matsskyld þá þarf að meta umhverfisáhrif framkvæmdarinnar	10.2			
2.8	Undirbúa umsóknir ef virkjunin er háð leyfum	10			
2.9	Útbúa kort af svæðinu • Kanna staðhætti, þ.e. landgerð, jarðfræði og laus jarðlög með tilliti til mannvirkjagerðar • Kanna framboð á jarðefnum til mannvirkjagerðar	2, 4.3, 5 4.3			
2.10	Setja fram tillögu(r) að fyrirkomulagi virkjunar • Koma fleiri en ein tillaga til greina • Ákvarða staðsetningu og hæðarkóta mannvirka • Bera saman kostnað, hagkvæmni og umhverfisáhrif mismunandi tilhögunar virkjunar	5 8, 11			

GÁTLISTI 2 – FRAMHALD

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
2.11	Ákvarða þarf fallhæð og rennsli og frávik frá hönnunargildum • Hönnunarfallhæð og frávik frá henni, minnsta og mesta fallhæð sem gert er ráð fyrir • Hönnunarrennsli og frávik frá því • Er lágrennsli árinnar undir hönnunarrennsli • Er miðlun sem tryggir fullt afl eða aukið afl við lágrennsli. Hversu lengi dugir miðlunin ? • Er aflnotkunin breytileg. Hvernig breytist aflnotkunin yfir árið	6 3.2 3.1, 6 5 3.1, 5.1 3.3, 3.4, 6.2			
2.12	Forhönnun mannvirkja og búnaðar • Ákvarða hönnunarforsendur, svo sem mestu flóð, hætta á krapastíflu, grunnstingulsmyndun, snjóálag, vindálag, jarðskjálftaálag, snjóflóð, skriðuföll, hæsta bakvatn við stöðvarhús • Forhanna og teikna mannvirki, svo sem stíflu, inntak, þrýstipípu og stöðvarhús • Ákveða helsta búnað sem gert er ráð fyrir að nota, svo sem gerðir hverfla, loka, rafala o.fl. • Afla tækniupplýsinga og tilboða í helsta búnað	5, 6			
2.13	Áætla stofnkostnað virkjunarinnar	11.1			

GÁTLISTI 2 – FRAMHALD

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
2.14	Leggja mat á arðsemi út frá áætluðum stofnkostnaði, tekjum og gjöldum	11.2			
2.15	Taka saman skýrslu um gögn og niðurstöður	14.2			
2.16	Framhald metið – ef virkjun er talin arðsöm er haldið á næsta þrep sem er undirbúningur framkvæmda • Skýrsla lögð fyrir sjóði og lánastofnanir • Skýrsla nýtt til kynningar samstarfsaðilum	11.2, 14.2			

GÁTLISTI 3 – UNDIRBÚNINGUR FRAMKVÆMDA

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
3.1	Vatnamælingum haldið áfram og gerð langæislína sem byggir á að minnsta kosti tveggja ára vatna-mælingum	3.1, 3.2, 4.2			
3.2	Samningar við rafveitu um tengingu og orkusölu • Tenging við dreifikerfi, samrekstur, eigin notkun • Uppfærð áætlun um ráðstöfum raforkunnar, raforkuverð, skortorkuverð, áætluð sala á ári • Ákvarða markafl og afhendingarskilmála • Einlínumynd af raftengingu við rafveituna	7, 7.2, [V1] [V2] 7.2, [V1] [V2] [V1] [V2] 3.4, 7.1, [V1] [V2] 7.2			
3.3	Uppfæra kort og landmælingar - bæta úr eftir þörfum	4.3, 5			
3.4	Fyrirkomulag virkjunar: • Valin álitlegasta tilhögun virkjunar • Gera glögga grein fyrir staðsetningu og hæðarkótum mannvirkja á teikningum og með lýsingu • Taka tillit til staðbundinna þátta í hönnun	5			

GÁTLISTI 3 – FRAMHALD

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
3.5	Fullnaðarhönnun virkjunar til að áætla efnismagn og afla tilboða • Staðfesta og uppfæra allar hönnunarforsendur • Hanna og teikna mannvirki • Afla ítarlegri gagna og tilboða í búnað. Ákvarða gerð helsta vél- og rafbúnaðar eins og hægt er fyrir útboð • Gera einlínumynd af rafbúnaði virkjunarinnar • Gera lýsingu og/eða teikningu þar sem gerð er grein fyrir því hvernig virkjuninni verður stjórnað	4, 5, 6 4, 5 5 6 6.5 6			
3.6	Afla leyfa eða tryggja að tilskilin leyfi fáist • Virkjunarleyfi ef >200 kW • Framkvæmdaleyfi ef >stærri en 100 kW eða á verndarsvæði • Byggingarleyfi • Heimild frá veiðimálastjóra ef hætta er á áhrifum á lífríki vatnsins • Starfsleyfi t.d. fyrir vinnubúðum • Leyfi fornleifaverndar	9, 10, 10.3 10.4 10.5 10.7 10.6, 10.8			

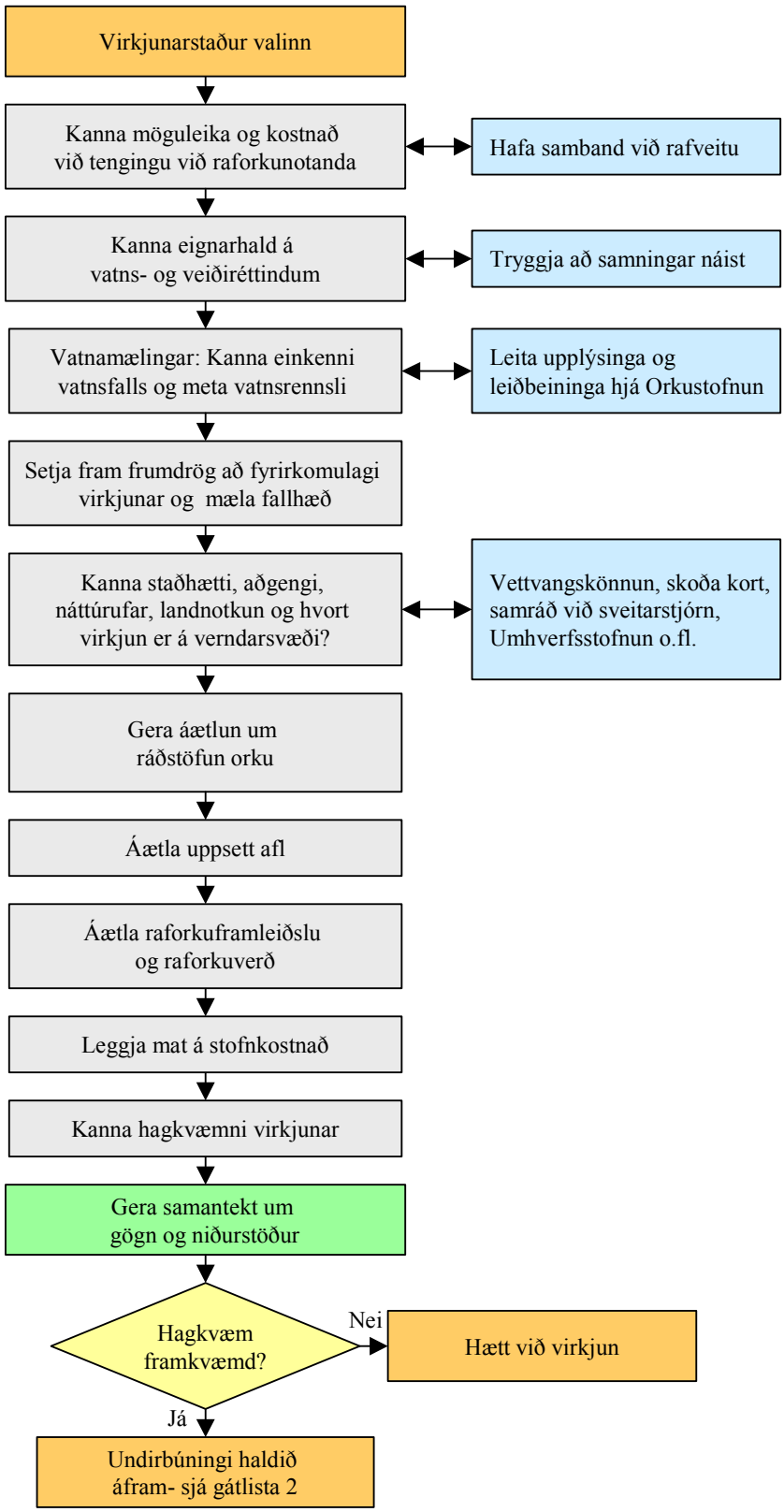
GÁTLISTI 3 – FRAMHALD

Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
3.7	Gera grein fyrir fjármögnun verkefnisins • Lánum og lánakjörum • Styrkjum • Eigin framlagi • Framlagi samstarfsaðila	11.3, 14.3			
3.8	Gera grein fyrir framkvæmdaáætlun, helstu þættir eru: • Ákvörðun og undirbúningur • Útboð og samningar • Jarðvinna og vegagerð • Mannvirki • Vél– og rafbúnaður • Tenging við notanda • Úttektir og prófanir • Rekstur	14.3			
3.9	Áætla stofnkostnað, tiltaka áfallinn kostnað	11.1			
3.10	Leggja mat á arðsemi virkjunarinnar • Kanna hvaða vexti virkjunin ber • Kanna tekjur og gjöld fyrstu árin	 11.2 11.2			

GÁTLISTI 3 – FRAMHALD

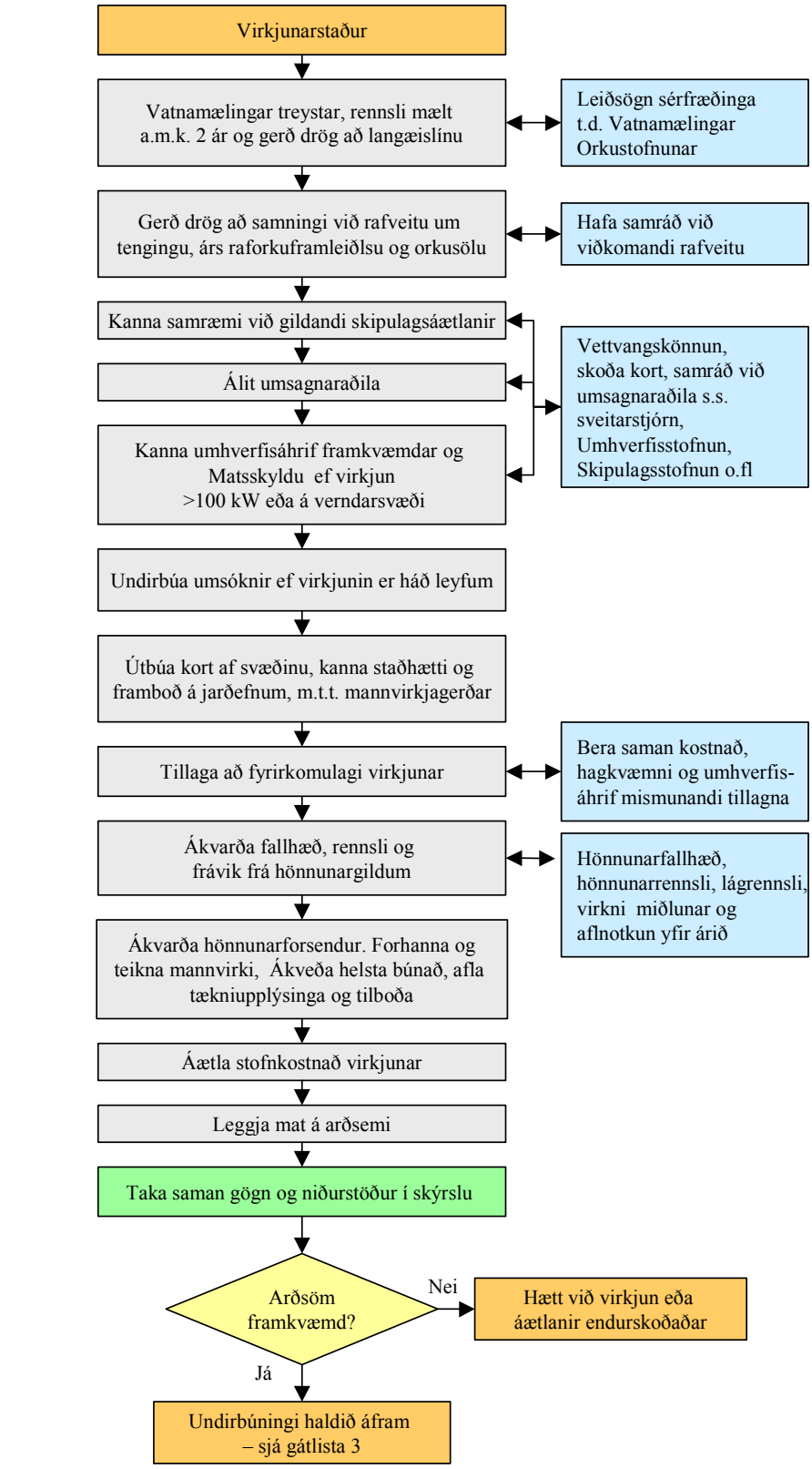
Nr.	Verkþáttur	Tilvísun í kafla, viðauka [V nr.]	Byrjað dags.	Lokið dags.	Athugasemdir
3.11	Gera skýrslu um helstu niðurstöður og gögn • Á henni byggist ákvörðun um hvort hefja eigi framkvæmdir • Grundvöllur þess að afla fjár • Til kynningar fyrir samstarfsaðilum	14.3			

GÁTLISTI 1 – FRUMATHUGUN
FLÆÐIRIT



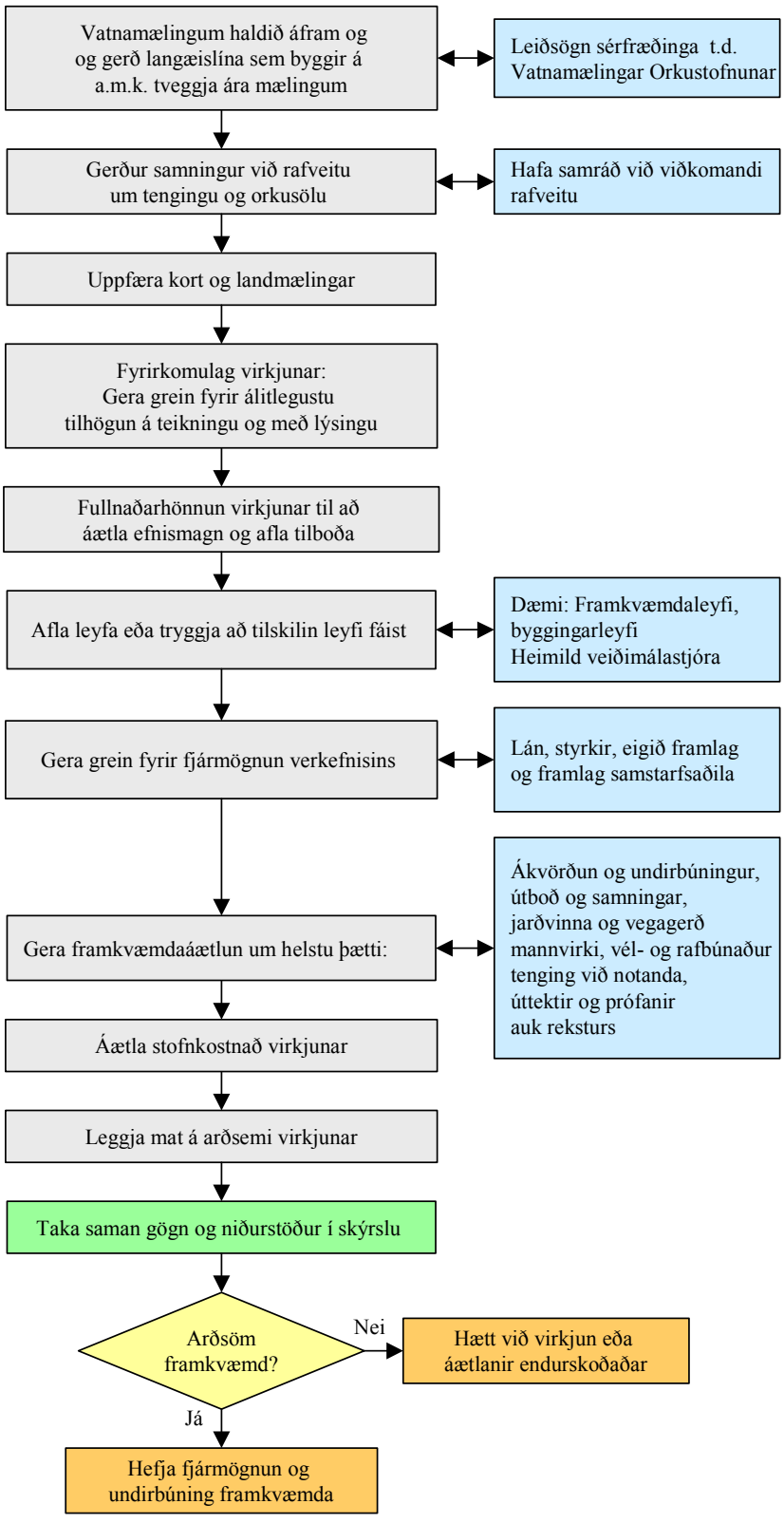
VGK 2003

GÁTLISTI 2 - FAGLEGT MAT Á VIRKJUNARKOSTI
FLÆÐIRIT



VGK 2003

GÁTLISTI– 3. UNDIRBÚNINGUR FRAMKVÆMDA
FLÆÐIRIT



VGK 2003

VIÐAUKI IV - Verklýsing VL5 frá Löggildingarstofu, leiðbeiningar um setningu smávirkjana

Löggildingarstofa	Skjal nr.	VL 5
VERKLÝSING VL 5	Útgáfa	02
	Dags	18.03.02
Leiðbeiningar um setningu smávirkjana	Bls	106 af 119

1. Almennt um smávirkjanir

Með heitinu smávirkjun er átt við raforkuvirki með rafala allt að 300 kVA, sem er notaður til að framleiða raforku.

Smávirkjun getur verið samfasa (með eigin segulmögnun) eða ósamfasa (án eigin segulmögnunar).

Samfasa: Samfasa-rafali er með eigin segulmögnun og getur því framleitt rafmagn óháð almenna raforkunetinu.

Ósamfasa: Ósamfasa-rafali er háður segulmögnun frá raforkunetinu til að geta framleitt rafmagn. Það þýðir að ef raforkunetið verður spennulaust, þá hættir rafalinn að framleiða rafmagn.

Ábyrgðarmaður smávirkjana skal uppfylla § 1.4.3 rur.

Ábyrgðarmanni smávirkjana sem falla undir § 1.5.2 í reglugerð um raforkuvirki (rur) ber að koma sér upp öryggisstjórnunarkerfi, að öðru leyti fellur neysluveituhluti smávirkjana undir § 1.6 rur.

Allar nýlagnir og meiriháttar breytingar sem gerðar eru á raflögnum smávirkjanna ber löggiltum rafverktaka að tilkynna til Löggildingarstofu á eyðublaði LS.BL:105.

Smávirkjun sem tengist almenna dreifikerfinu er í öllum tilvikum háð samþykki ábyrgðarmanns viðkomandi rafveitu.

Fyrir stofntaugar frá smávirkjun skulu yfirstraumsvarnir vera í samræmi við § 302 og varnarráðstafanir í samræmi við § 203 - § 211 í reglugerð um raforkuvirki. Í neysluveitum þar sem snertispennuvörn fyrir stofntaugar (frá dreifikerfi rafveitu) er hlífðareinangrun, má verja stofntaugar smávirkjunar á sama hátt þó að varnarleiðari hennar (PE- leiðari) sé innan sömu kápu og fasaleiðarar.

Smávirkjun þarf að uppfylla ákvæði í § 261 - § 268 í reglugerð um raforkuvirki. Þetta á m.a. við um yfirstraums- og jarðhlaupsvarnir, snertispennu- og snertivarnir og um tengingu stöðvarinnar við dreifikerfið.

Snertispennuvörn skal ákvörðuð samkvæmt reglugerð um raforkuvirki í samráði við hlutaðeigandi rafveitu. Þar sem smávirkjun er rekin á einangruðu kerfi skal ábyrgðarmaður hennar taka ákvörðun um snertispennuvörn.

2. Samfasa smávirkjun sem er tengd almennu dreifikerfi rafveitna með skiptirofa eða á sambærilegan hátt:

Verklýsing Löggildingarstofu VL 4, „Leiðbeiningar um tengingu vararafstöðva", gilda í þessu tilviki.

Löggildingarstofa	Skjal nr.	VL 5
VERKLÝSING VL 5	Útgáfa	02
	Dags	18.03.02
Leiðbeiningar um setningu smávirkjana	Bls	107 af 119

3. Samfasa smávirkjun sem er tengd almennu dreifikerfi rafveitna:

Smávirkjunin er rekin á ábyrgð ábyrgðamanns sem uppfyllir hæfiskröfur samkvæmt ákvæðum í § 1.4.3 í reglugerð um raforkuvirki.

Til að nýta samfasa rafala samtengdan netinu verður að vera til staðar samfösunarbúnaður.

Samfasa smávirkjun sem er nettengd þarf að uppfylla skilyrði í orðsendingu nr. 1/84, kafla 4 og 5, frá Löggildingarstofu.

Viðurkenning Löggildingarstofu á öryggisstjórnunarkerfi smávirkjunarinnar skal liggja fyrir áður en ábyrgðarmaður viðkomandi rafveitu heimilar tengingu hennar.

4. Ósamfasa smávirkjun sem er tengd almennu dreifikerfi rafveitna:

Ósamfasa smávirkjun sem er nettengd þarf að uppfylla ákvæði § 261 - § 268 í reglugerð um raforkuvirki.

5. Breytingasaga

18.03.02 Útgáfa 02. Kafli 1, 6 mgr. Kafli 3, 4 mgr. bætist við.