

Orkunotkun sundlauga

Hjörleifur Þór Jakobsson

Greinargerð HÞJ-81/01

Orkunotkun sundlauga

1. Inngangur

Upphitun sundlauga er ein elsta og jafnframt einfaldasta nýting jarðhita á Íslandi. Lítið hefur þó verið ritað af fræðum í þessu sambandi hérlandis. Það helsta sem út hefur komið er "Hitun og hreinsun sundlaugarvatns" eftir Guðmund Halldórsson (VST) unnið fyrir íþróttanefnd ríkisins. Í þessari greinargerð er ætlunin að taka saman nokkra punkta sem varða upphitun sundlaugarvatns. Þar eð útilaugar eru í miklum meirihluta hérlandis (85%), verður hér eingöngu fjallað um þær.

2. Varmatap

Núorðið eru flestar sundlaugar útbúnar hreinsitækjum þannig að fræðilega séó er aðeins þörf að fylla laugina einu sinni og bata svo við heitu vatni sem nemur varmatapi laugarinnar. Þó er laugin alltaf tæmd og fyllt einstaka sinnum vegna viðhalds.

Varmatap laugarinnar er fólgið í eftirfarandi þáttum.

- i) Uppstreymi (convection) Q_C
- ii) Uppgufun Q_E
- iii) Geislun Q_R
- iv) Leiðnitap Q_L
- v) Úrkoma Q_U

2.1 Uppstreymi

Varmaflutingur vegna uppstreymis er reiknaður út frá hinni almennu jöfnu:

$$Q_C = h_c \cdot (T_w - T_a) \quad (1)$$

Varmaflutingsstuðullinn h_c er mjög háður vindhraða og margar leiðir hafa verið farnar til að finna hann. Íslenskir vísindamenn mæltu á sínum tíma með því (heimild 2) að jafna Rimsha - Donchenko yrði almennt notuð til að reikna h_c .

Þar sem

$$h_c = K + 0.45 V2 \quad [\text{cal/m}^2 \text{s}^\circ\text{C}]$$
$$K = 0.93 + 0.04 \cdot (T_w - T_a) \quad [\text{cal/m}^2 \text{s}^\circ\text{C}]$$
$$T_w = \text{Vatnshiti} \quad [^\circ\text{C}]$$
$$T_a = \text{Lofthiti} \quad [^\circ\text{C}]$$
$$V2 = \text{Vindhraði í 2 m hæð} \quad [\text{m/s}]$$

2.2 Uppgufun

Vegna mismunandi gufuþrýstings við yfirborð vatnsins og umhverfislofts, gufar vatn upp og af því hlýst töluvert varmatap. Fyrir þetta tap er talið ráðlegt (heimild 2) að nota jöfnu Rimsha - Donchemko.

$$Q_E = (1.56 \cdot K + 0.70 \cdot V2) \cdot (e_w - e_a) \quad [\text{cal/s m}^2] \quad (2)$$

Þar sem

$$K = 0.93 + 0.04(T_w - T_a) \quad [\text{cal/m}^2 \text{s}^\circ\text{C}]$$
$$T_w = \text{Vatnshiti} \quad [^\circ\text{C}]$$
$$T_a = \text{Lofthiti} \quad [^\circ\text{C}]$$
$$V2 = \text{Vindhraði í 2 m hæð} \quad [\text{m/s}]$$
$$e_w = \text{eimþrýstingur við vatnsyfirborð} \quad [\text{mbör}]$$
$$e_a = \text{eimþrýstingur í lofti} \quad [\text{mbör}]$$

Á mynd 1 eru jöfnur (1) og (2) teknar saman og þannig fæst út varmatap fyrir hin mismunandi skilyrði. Í öllum útreikningum er miðað við $T_w = 27^\circ\text{C}$ en það er sá hiti sem yfirleitt er hæfur í laugum hérlendis.

Á mynd 2 má sjá varmatap frá hverjum fermetra laugaryfirborðs fyrir hvern mánuð. Þessi mynd er byggð á veðurupplýsingum úr Reykjavík á árunum 1970-1979 og gildir því eingöngu fyrir Stór-Reykjavíkursvæðið.

Mynd 3 sýnir samsvarandi upplýsingar fyrir 1980. Af mynd 2 sést að meðalvarmatap vegna uppstreymis og uppgufunar er ca 1310 W/m^2 en fyrir árið 1980 er það 1210 W/m^2 . Það ber þó að hafa í huga að veðurmælingarnar sýna sennilega meiri vindhraða en er yfir lauginni þar eð flestar laugar hafa skjólgarð sem ætti að draga eitthvað úr vindhraða.

Eins og sést á myndum 2 og 3 er hér um meðaltalstölur að ræða. Að sjálfsögðu koma dagar þar sem varmatapið er mun meira og sem dæmi má nefna að yfir versta daginn 1980 fór varmatapið upp í ca 3650 W/m^2 .

2.3 Geislun

Við ákveðin veðurskilyrði getur varmatap vegna geislunar haft töluverð áhrif á heildarvarmatapið. Á þetta sérstaklega við í köldu og heiðskíru veðri.

Jafna (3) sýnir áhrif geislunar: (Heimild 2)

$$Q_R = 4.186 \cdot ((13.18 \cdot 10^{-9} \cdot T_a^4 \cdot (0.46 - 0.06 \cdot e_a^{0.5}) - G_o \cdot (1-a)) \cdot (1 - 0.012 \cdot N^2) + 13.18 \cdot 10^{-9} (T_w^4 - T_a^4)) \quad [W/m^2] \quad (3)$$

Þar sem

- T_a = Loftthiti [°C]
- e_a = eimþrýstingur í lofti [mbör]
- G_o = sólgeislun í heiðskíru veðri [cal/s m²]
- a = eðlisendurkast vatns
- N = skýjahula 0-8

Versta hugsanlega tilfelli sem upp getur komið er þegar $G_o = 0$ og $N = 0$ og T_a er mjög lágt t.d. $T_a = -10^\circ\text{C}$
þá fæst:

$$Q_R \approx 280 \text{ W/m}^2$$

Af þessu sést að geislunartöpp eru til mikilla muna minni en uppgufunar- og uppstreymistöpp. Erfitt er að ákvarða meðalgeislunartöpp yfir árið en ef miðað er við meðalhita 4.5°C (Reykjavík) myndi geislunin vera á bilinu $120-220 \text{ W/m}^2$ eftir skýjafari og sólgeislun. Ekki er því óeðlilegt að álykta sem svo að geislunartöpp séu ca 170 W/m^2 að meðaltali.

2.4 Leiðnitap

Leiðnitap er út um vegg og botn laugarinnar. Oftast er botninn á það miklu dýpi að tap út um hann er óverulegt. Meðfram veggjum laugarinnar eru oftast hafóir gangar og búningsklefar. Hitastigið þar er svipað og í lauginni þannig að lítið tapast þar út. Útveggir þessara ganga eru vanalegast einangraðir samkvæmt byggingareglugerð og kólnunartala þeirra því ca $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Flatarmál útveggja er yfirleitt ca $1/3$ af yfirborðsflatarmáli laugarvatnsins. Ef miðað er við það flatarmál verður tapið því ca 10 W/m^2 í versta falli og ca 5 W/m^2 að meðaltali. Af þessu sést að leiðnitap er smáregjilegt miðað við önnur töpp.

2.5 Úrkoma

Þegar rignir ofan í laugina þarf að hita það vatn sem fellur, upp í laugarhita. Hér verður gert ráð fyrir því að regnið sé ca 0°C þegar það lendir í lauginni. Fyrir hvern mm sem fellur verða þetta ca 1 kg af vatni á fermetra sem hita þarf upp um 27°C. Ef gert er ráð fyrir að þessi mm dreifist jafnt á 24 tíma, þarf aðlið að vera ca:

$$Q_R = \frac{1 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{C} \cdot 27^\circ\text{C}}{24 \cdot 3600} = 1.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{mm regn}$$

Oft rignir ca 15 mm á sólarhring þannig að afköstin þurfa að vera

$$Q_R = 15 \cdot 1.3 \text{ W/m}^2 \approx 20 \text{ W/m}^2$$

Ekki er eðlilegt að ganga út frá því að rigningin dreifist jafnt á 24 tíma. Líklegra er að þetta gerist á a.m.k. helmingi styttri tíma og þá þarf að tvöfalda afköstin upp í 40 W/m².

Ef um snjó er að ræða þarf einnig að bræða hann. Bræðsluvarmi snjós er 335 kJ/kg og ef snjókoman dreifist á 12 tíma þurfa afköstin að vera 335000/12·3600 = 7.8 W/m². Ef snjóar 15 mm á þessum 12 tímum þurfa afköstin að vera:

$$Q_S = 12 \cdot 7.8 + Q_{\text{Hitun}} = 93 + 40 = 133 \text{ W/m}^2$$

Sá möguleiki er einnig fyrir hendi að það skafi ofan í laugina. Þá virkar laugin eins og svartur hlutur á ljósgeisla þ.e. hún sýgur allan snjó í sig. Samkvæmt upplýsingum Veðurstofunnar (Heimild 3) gæti skaðbylur á 6 klst. jafngilt 100 cm af jafnföllum snjó sem svo verður af ca 10-20 cm vatni eftir þéttleika snjósins. Ef gert er ráð fyrir 15 cm vatni jafngildir þetta ca 3100 W/m².

3. Samantekt á varmatapi

Tap vegna uppgufunar, upptörymis og geislunar er hér að framan metið u.þ.b. 1480 W/m² að meðaltali. Ef tap vegna leiðni, úrkomu og aðrir óvissuþattir eru metnir upp á 15% fæst að varmatap frá sundlaug á Stór-Reykjavíkursvæðinu er u.þ.b. 1700 W/m² að meðaltali. Þörfin er mun meiri í verstu tilfellum svo að nauðsynlegt er að uppsett afl sé töluvert meira. Út frá frámansöðum má átla að það þyrfti að vera í kringum 4000 W/m².

Við hönnunum sundlauga er uppsett afl oftast miðað við að hægt sé að fylla sundlaugina á einhverjum ákveðnum tíma. Almennt er miðað við 6-8 tíma. Gert er ráð fyrir að hiti kalda vatnsins sé 5°C, heita vatnið sé 75°C og hiti laugarvatns sé 27°C. Ef tekið er varmaþáttveggi fyrir heita og kalda vatnið fæst eftirfarandi.

$$x \cdot 75 + (1-x) \cdot 5 = 27$$

$$x = 0.314$$

Ef gert er ráð fyrir að laugin sé að meðaltali 2m á dýpt, þarf fyrir hvern fermetra af laugaryfirborði 2000 l af vatni eða 626 l (kg) af heitu vatni. Þetta rennsli dreifist síðan á 7 tíma eða 0.025 kg/s. Aflþörfin er þá að meðaltali $0.025 \cdot 4200 \cdot (75-27) = 5000 \text{ W/m}^2$. Meðan vatnið streymir í laugina er stöðugt varmatap frá henni. Ef miðað er við að þetta gerist á meðaldegi þá batist við 1700 W/m^2 þannig að uppsett afl þyrfti að vera 6700 W/m^2 .

Til að prófa niðurstöðurnar var haft samband við Hitaveitu Reykjavíkur og frá þeim fengust upplýsingar um orkusölu til fjögurra útisundlauga á Stór-Reykjavíkursvæðinu árið 1980. Ef gert er ráð fyrir að þessar sundlaugar séu í gangi allan sólarhringinn allt árið um kring fæst eftirfarandi vatnsnotkun.

	tonn	kg/s m ²
Sundlaug Reykjavíkur (Laugardal)	463570	0.013
Sundlaug Vesturbæjar	105625	0.011
Sundlaug Kópavogs	36251	0.007
Sundlaug Garðabæjar	59437	0.008

Ef tekið er vengið meðaltal út frá þessu fæst vatnsþörfin 0.011 kg/s m². Þessar tölur ná yfir alla sölu til lauganna, vatn í laugar, potta, baðvatn og vatn á ofna. Það síðasttalda er mjög óverulegur þáttur og erfitt er að meta baðvatnsþörfina þar eð yfirleitt eru ekki sér mælur fyrir það. Í Sundlaug Kópavogs er þó slíkur mælir og samkvæmt upplýsingum forstöðumannsins þar er baðvatnið um 10% af heildar vatnskaupum. Heitir pottar eru mismargir við þessar laugar og flestir litlir og vel varðir gegn vindum. Ekki er því gert ráð fyrir að vatnsnotkun þeirra sé meira en 5% af heildinni. Vatnsþörf fyrir laugina er því áætluð $0.011 \cdot 0.85 = 0.009 \text{ kg/s m}^2$. Ef gert er ráð fyrir því að vatnið nýtist um 45°C (75-30) fæst að aflnotkun er u.þ.b. 1700 W/m^2 . Eins og sést á mynd 3 var orkuþörfin fyrir 1980 100 W/m² minni en í meðalári eða 1600 W/m^2 . Hér munar því nokkru en þetta getur ekki talist umtaliðverð óvissu.

4. Niðurstöður

Heildarniðurstöður eru þar að í meðalári er meðalafllnotkun útisundlaugar á Stór-Reykjavíkursvaðinu 1700 W/m^2 fyrir utan bóa og potta. Nauðsynlegt uppsett afl er metið 6700 W/m^2 .

Heildarflatarmál útisundlauga í landinu er 11400 m^2 . Ef geró er sú nálgun að allar útilaugar þurfi svipað meðalafll má ætla að heildaraflþörf útilauga á landinu sé 19.4 MW . Líklegt er að þessi tala sé eitthvað hærrí þar eó oftast er kaldara úti á landsbyggðinni.

Innisundlaugar ná samtals yfir 2500 m^2 . Árið 1980 var geró könnun á vegum Orkustofnunar um vatnsnotkun innilauga mióað við útilaugar. (Heimild 4.) Þá kom í ljós að vatnsnotkun þeirra var um helmingur á við útilaug. Samkvæmt því má gera ráó fyrir að meðalafllþörf innilauga sé 850 W/m^2 og heildarþörf yfir landið því 2.1 MW .

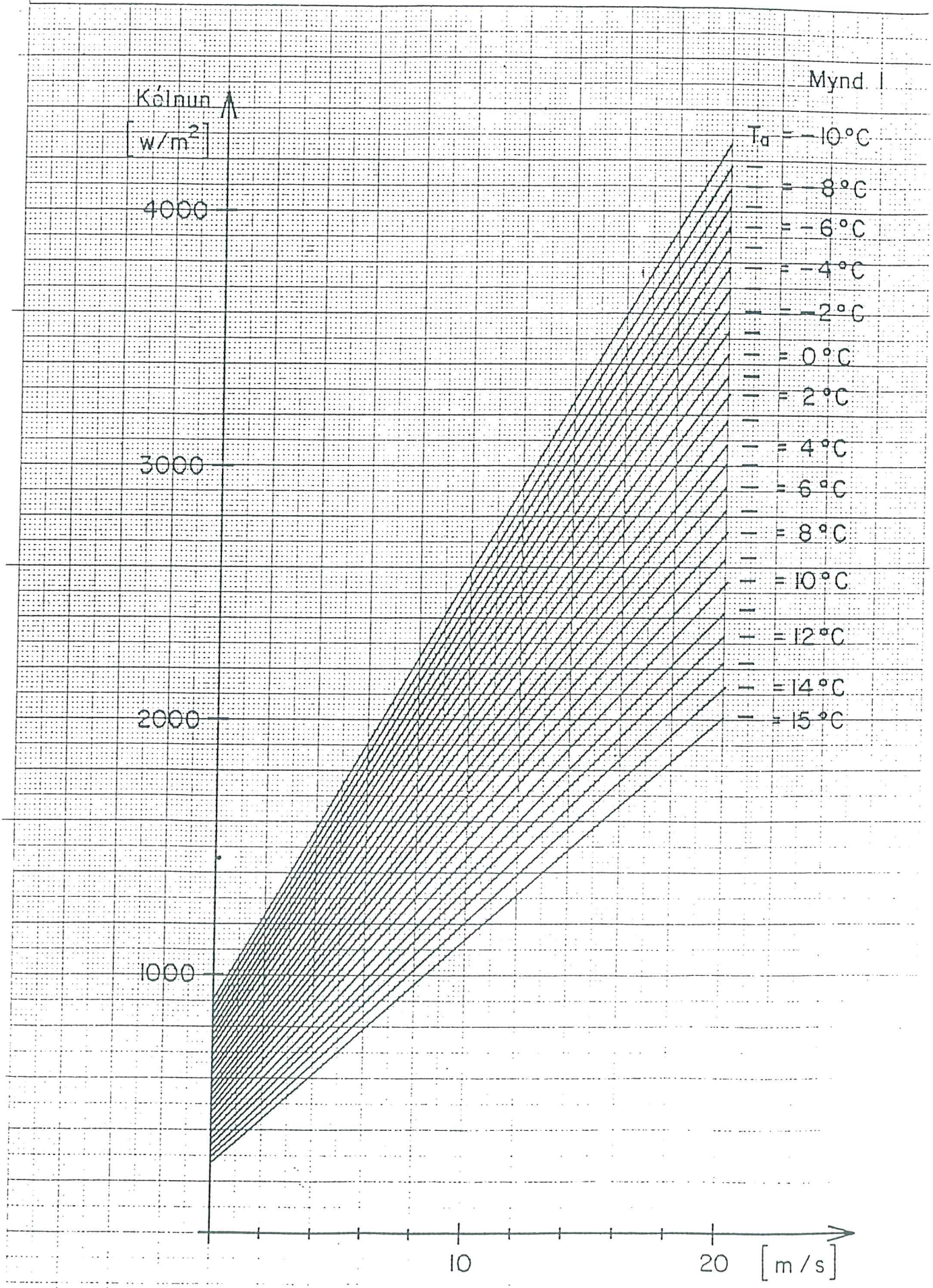
Meðalafllþörf úti- og innisundlauga fyrir landið í heild er því um 21.5 MW . Á mynd 4 má sjá hvernig vatnsþörfin breytist með aðstreymsihita ef gert er ráó fyrir meðalafllþörf 1700 W/m^2 og vatnið nýtistniður í 30°C .

Hjörleifur Þór Jakobsson



JHD-HSD-408-HBJ
81.06.0802-GSJ

Kólnun vegna uppstreymis og uppgufunar

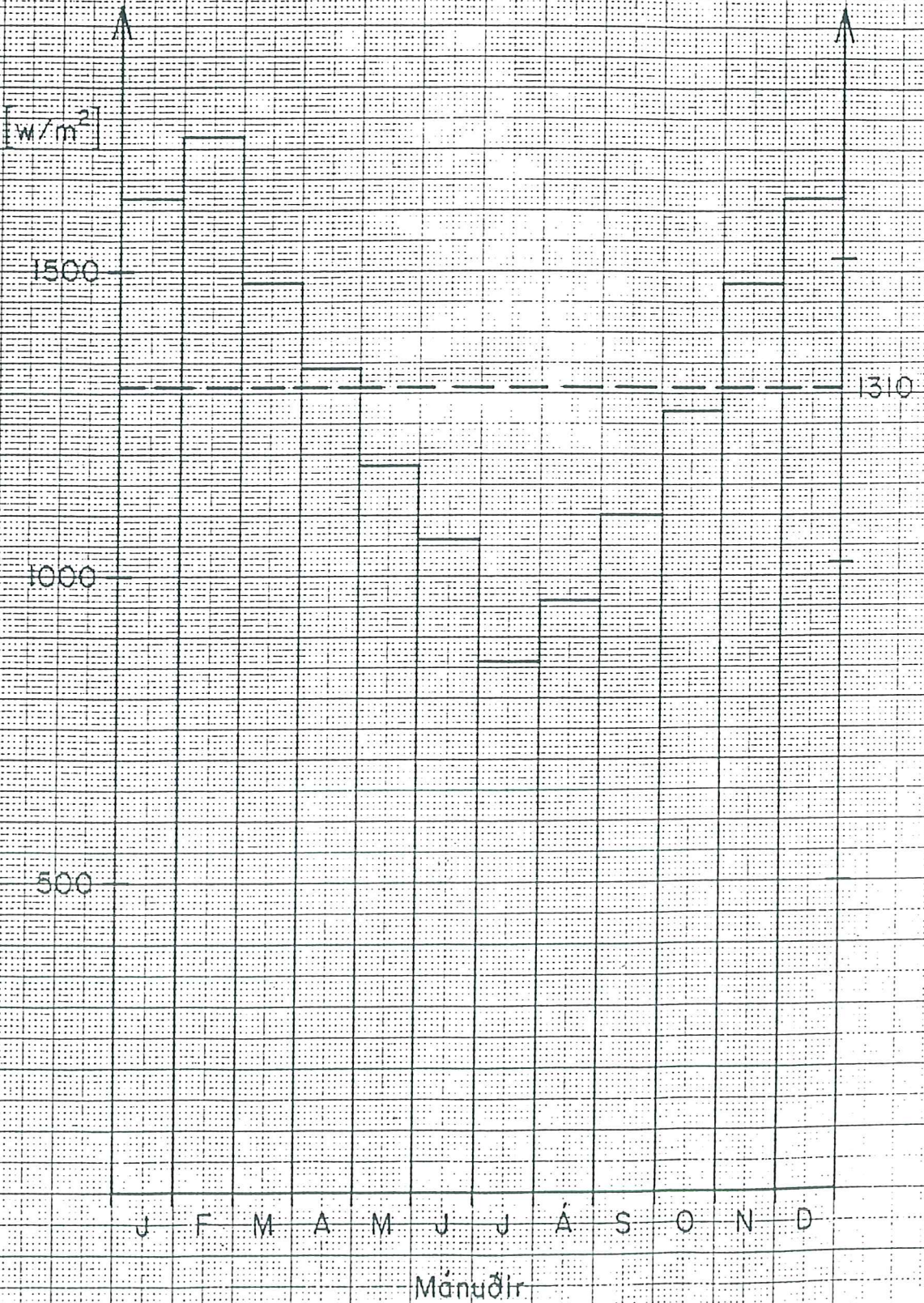




JHD - HSP - 408 - HPJ
81.06.0803 - GSJ

Varmatap vegna uppstreymis og uppgufunar byggt á veðurupplýsingum 1970-1979

Mynd 2





JHD-HSB-408-HPJ
81.06.0804 - GSJ

Varmatap vegna uppstreymis og uppgufunar byggt á veðurupplýsingum 1980

Mynd 3

$[w/m^2]$

1500

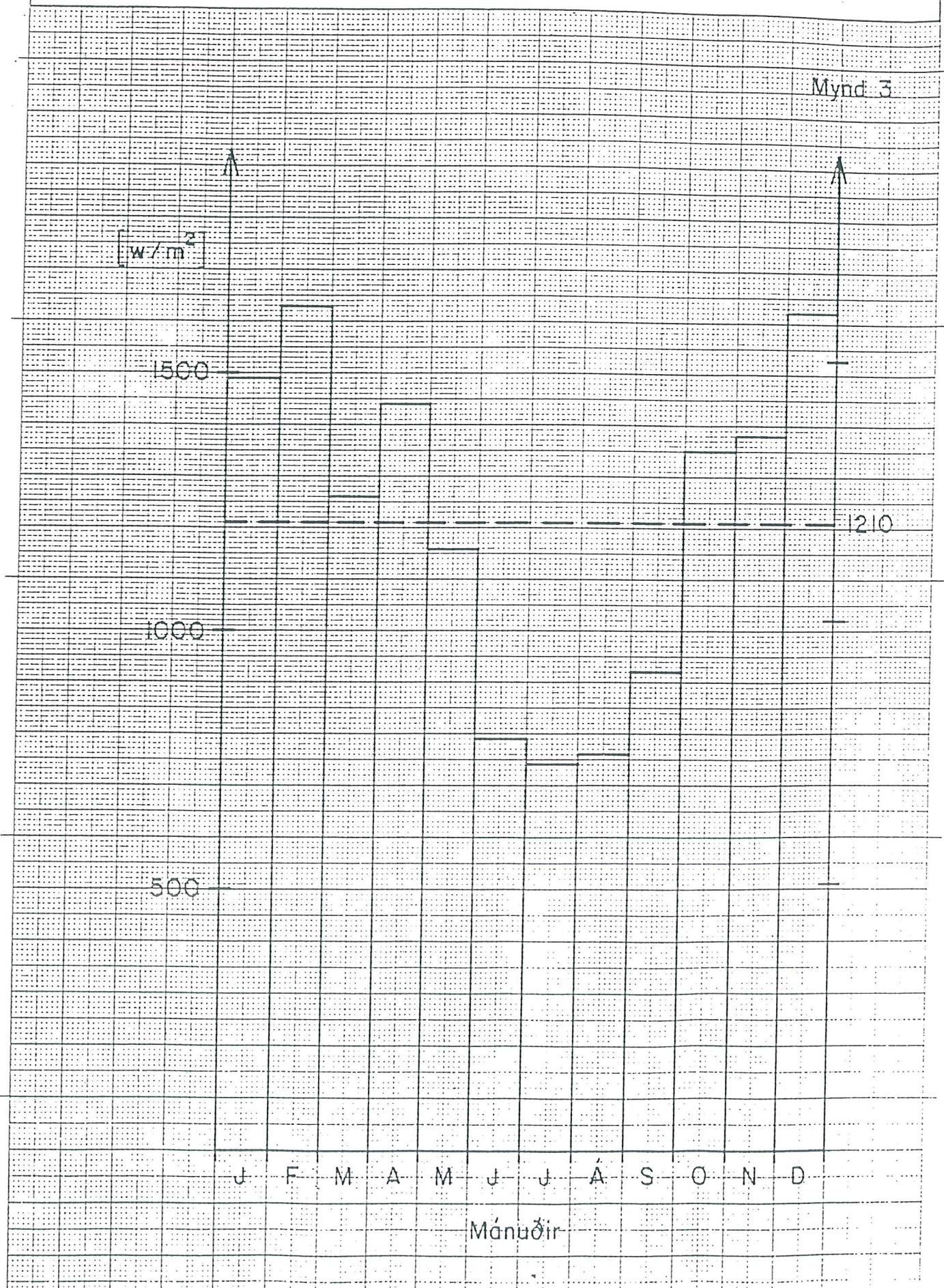
1000

500

1210

J F M A M J J Á S O N D

Mánuðir





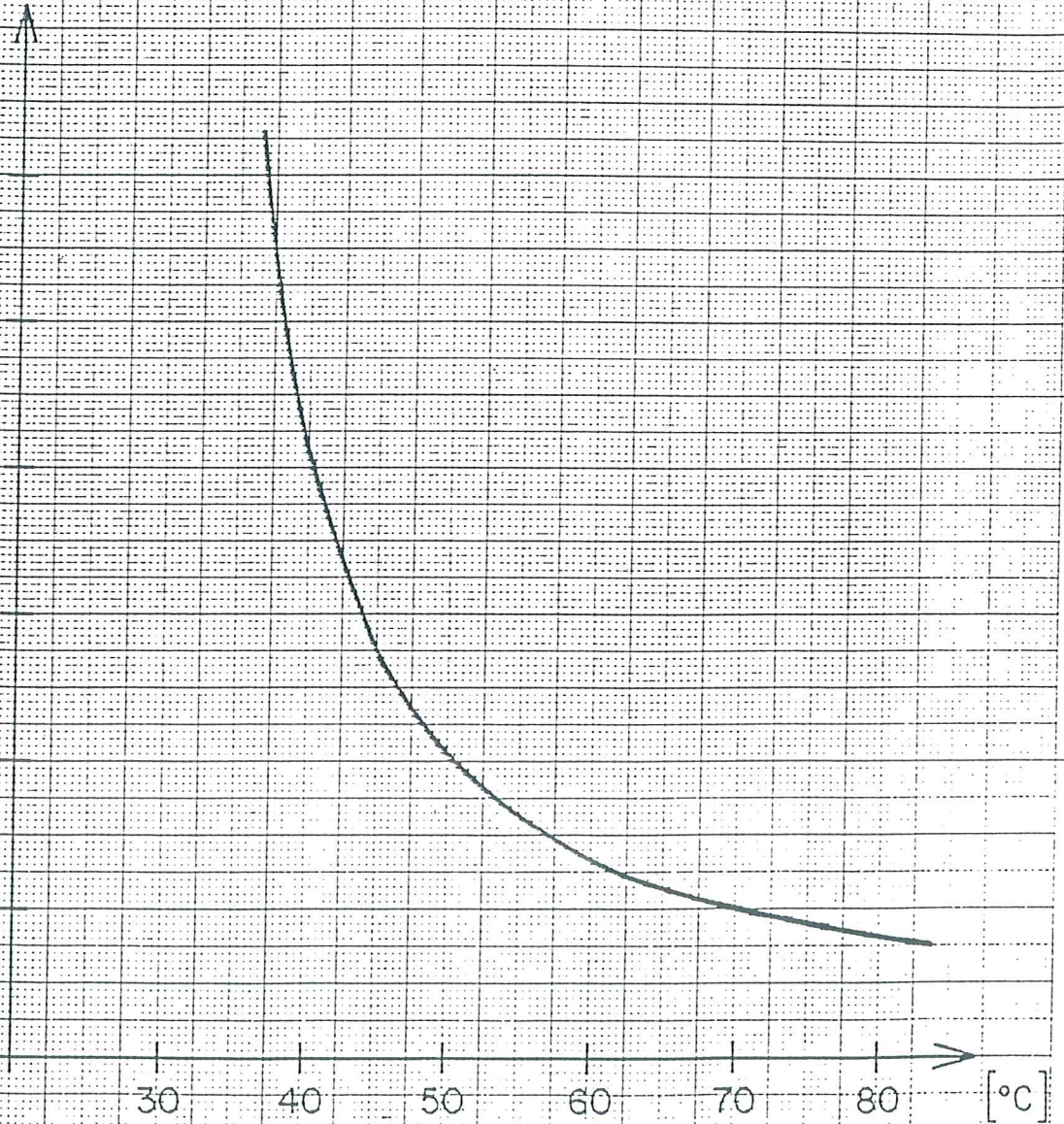
Vatnsþörf sundlauga sem fall af aðstreykishita

Mynd 4

Vatnsþörf
[Kg/s m²]

0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01

30 40 50 60 70 80 [°C]



5 Heimildir

1. Guðmundur Halldórsson (VST), 1975: Hitun og hreinsun
sundlaugarvætns., Íþróttanefnd ríkisins, Reykjavík
2. Sigmund Freysteinnsson, Björn Erlendsson, 1971: Varmatap
frá straumvötnum. Orkustofnun, Raforkudeild, Reykjavík
3. Matthías Matthíasson (VGK)
4. JSG-MJG-RH-KS-HThJ, 1980: Lowtemperature geothermal energy
in Iceland., Orkustofnun

Ennfremur fengust gagnlegar upplýsingar frá Valdimar K Jónssyni H. í.