

2 Vatn undir jökli²

Jökull er þykk ísbreiða, allt að því nokkrir kílómetrar á þykkt, sem liggur á jörðinni og getur náð yfir tugi eða hundruð kílómetra í lárétta stefnu. Í þessu verkefni athugum við bráðnun vatns og hegðun þess undir þíðjökli, það er jökli sem er við bræðslumark. Við gerum ráð fyrir að við slíkar aðstæður valdi ísinn þrýstingsbreytingum eins og seigfljótandi vökvi (viscous fluid) en breyti lögun með því að brotna og hreyfist þá einkum lóðrétt. Eftirfarandi upplýsingar eru gefnar vegna þessa verkefnis.

Eðlismassi vatns:	$\rho_w = 1,000 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Eðlismassi íss:	$\rho_i = 0,917 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Eðlisvarmi vatns:	$c_i = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$
Bræðsluvarmi íss:	$L_i = 3,4 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$
Bræðslumark íss:	$T_0 = 0^\circ\text{C, fasti}$
Eðlismassi bergs og kviku:	$\rho_r = 2,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Eðlisvarmi bergs og kviku:	$c_r = 700 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$
Bræðsluvarmi bergs:	$L_r = 4,2 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$
Varmastreymi að meðaltali út um yfirborð jarðar:	$J_Q = 0,06 \text{ W/m}^2$

a) (0,5 stig) Athugum þykka jökulhettu þar sem varmastreymi innan úr jörðinni er í meðallagi. Notaðu gögnin úr töflunni til að reikna út þykktina d á íslaginu sem bráðnar á hverju ári, og skrifaðu svarið í þar til gerðan reit á svarblaðinu.

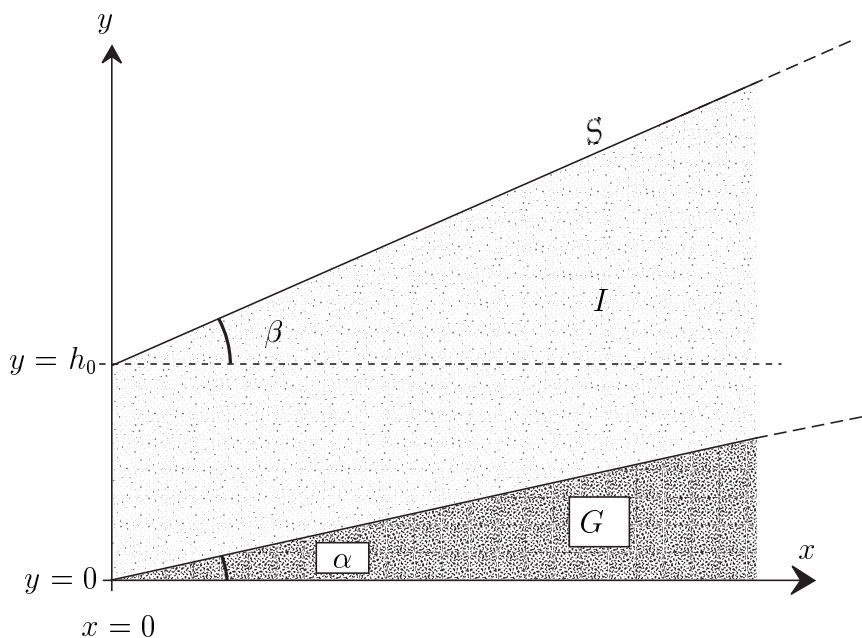


Figure 2.1: Þversnið jökulhettu sem liggur á hallandi en sléttu undirlagi og er einnig slétt að ofan. S : efra borð jökuls, G : undirlag, I : jökulís.

b) (3,5 stig) Athugum nú efra borð jökuls. Undirlagi hans hallar um hornið α . Efra borðinu hallar hins vegar um hornið β eins og mynd 2.1 sýnir. Lóðrétt þykkt íssins við $x = 0$ er h_0 . Því má lýsa neðra og efra borði íssins með jöfnunum

$$y_1 = x \tan \alpha, \quad y_2 = h_0 + x \tan \beta \quad (2.1)$$

Leiddu út jöfnu um þrýstinginn p við botn jökulsins sem falla af lárétta hnitinu x , og skrifaðu svarið á svarblaðið.

Settu fram á stærðfræðilegan hátt skilyrði sem hornin β og α þurfa að fullnægja til þess að vatn í þunnu lagi milli jökuls og undirlags streymi í hvoruga áttina. Sýndu að skilyrðið er á forminu

$$\tan \beta = s \tan \alpha. \quad (2.2)$$

Finndu stuðulinn s og skrifaðu niðurstöðuna í táknum á svarblaðið. Línan $y_1 = 0.8x$ á mynd 2.2 sýnir yfirborð jarðar undir jökli. Lóðrétt þykkt jökulsins h_0 við $x = 0$ er 2 km. Við gerum ráð fyrir að vatn við botn jökulsins sé í jafnvægi.

Teiknaðu línuna y_1 á millimetrappír og bættu við línunni y_2 sem lýsir efra borði jökulsins. Sýndu á myndinni hvor línan er hvað.

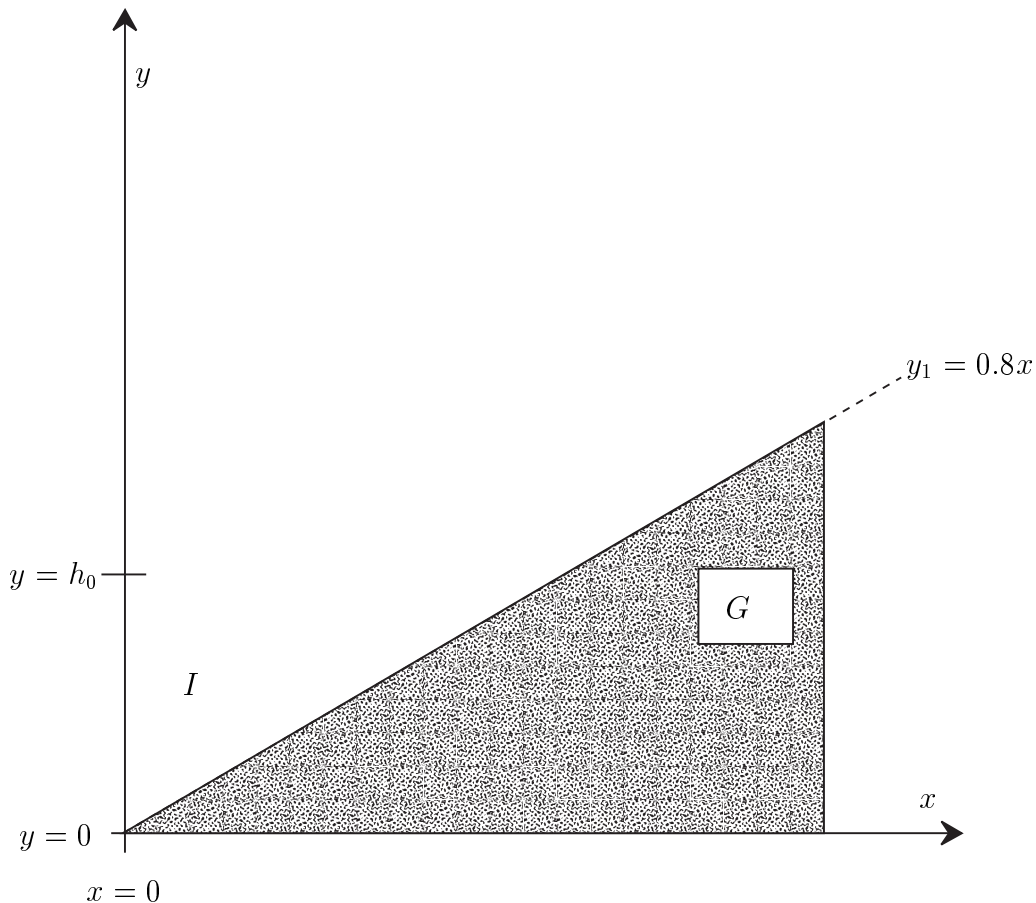


Figure 2.2: Þversnið þíðjökuls sem liggur á hallandi undirlagi þannig að vatn er í jafnvægi við botninn. Á myndina vantar efra borð jökulsins. G : undirlag, I : jökulís.

c) (1 stig) Mikil íshella liggur á láréttu undirlagi og hefur í upphafi fasta þykkt $D = 2.0$ km. Keilulaga vatnsinnskot myndast skyndilega inni í ísnum við bráðnun. Hæð keilunnar er $H = 1.0$ km og geislinn (radiínn) $r = 1.0$ km (mynd 2.3). Við gerum ráð fyrir að ísinn sem eftir er lagi sig að þessu með lóðréttum hreyfingum eingöngu.

Sýndu með útreikningum á auðu svarblaði og með mynd á millimetrappír hvernig efra borð íshellunnar verður eftir að vatnskeilan hefur myndast og þrýstingsjafnvægi er komið á.

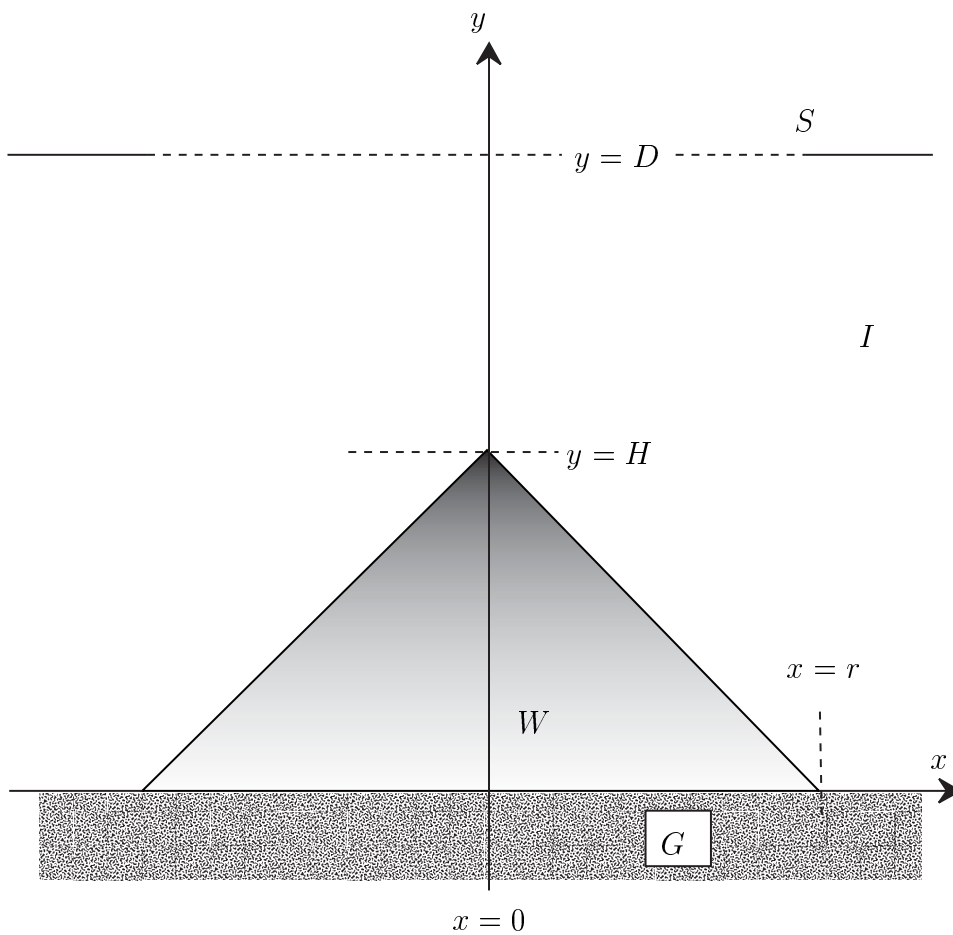


Figure 2.3: Lóðrétt snið eftir sléttu gegnum miðju í vatnskeilu inni í jökulís. S : efra borð, W : vatn, G : undirlag, I : jökulís.

d) (5 stig) Alþjóðlegur hópur vísindamanna er að rannsaka þíðjökul á Suðurskautslandinu í árlegum leiðangri. Svæðið er venjulega víðáttumikil slétta en í þetta sinn rekst hópurinn á djúpa gíglaga dæld sem er í laginu eins og keila sem snýr toppinum niður. Dýpt hennar h er 100 m og geislinn r er 500 m (mynd 2.4). Þykkt íshellunnar á svæðinu er 2000 m.

Eftir nokkrar umræður komast vísindamennirnir að þeirri niðurstöðu að líklega hafi orðið minni háttar eldgos undir jöklinum. Bergkvika hafi komið upp við botn jökulsins, storknað og kólnað og brætt tiltekið rúmmál af ís. Hér á eftir verður lýst hvernig vísindamennirnir reyna að meta stærð kvikuinnskotsins og gera sér hugmynd um hvað varð af bræðsluvatninu.

Við gerum ráð fyrir að ísinn hafi aðeins hreyfst lóðrétt og að kvikan hafi verið fullkomlega bráðin og 1200°C heit í byrjun. Til einföldunar er einnig gert ráð fyrir að kvikuinnskotið hafi verið í laginu eins og keila með hringlaga grunnfleti lóðrétt undir keilulaga dældinni á efra borði íssins. Kvikan hafi komið upp á stuttum tíma miðað við tímann sem varmaskiptin í ferlinu tóku. Varmastreymið hafi fyrst og fremst verið lóðrétt þannig að rúmmálið sem bráðnaði af ísnum hafi á hverjum tíma takmarkast af keilufleti með miðju lóðrétt yfir miðju kvikuinnskotsins.

Að þessum forsendum gefnum gerist bráðnun íssins í tveimur skrefum. Í fyrstu er vatnið ekki í þrýstingsjafnvægi við yfirborð bergkvikunnar og rennur því burt. Við gerum ráð fyrir að vatnið sem rennur burt sé við frostmark. Síðan næst þrýstingsjafnvægi og

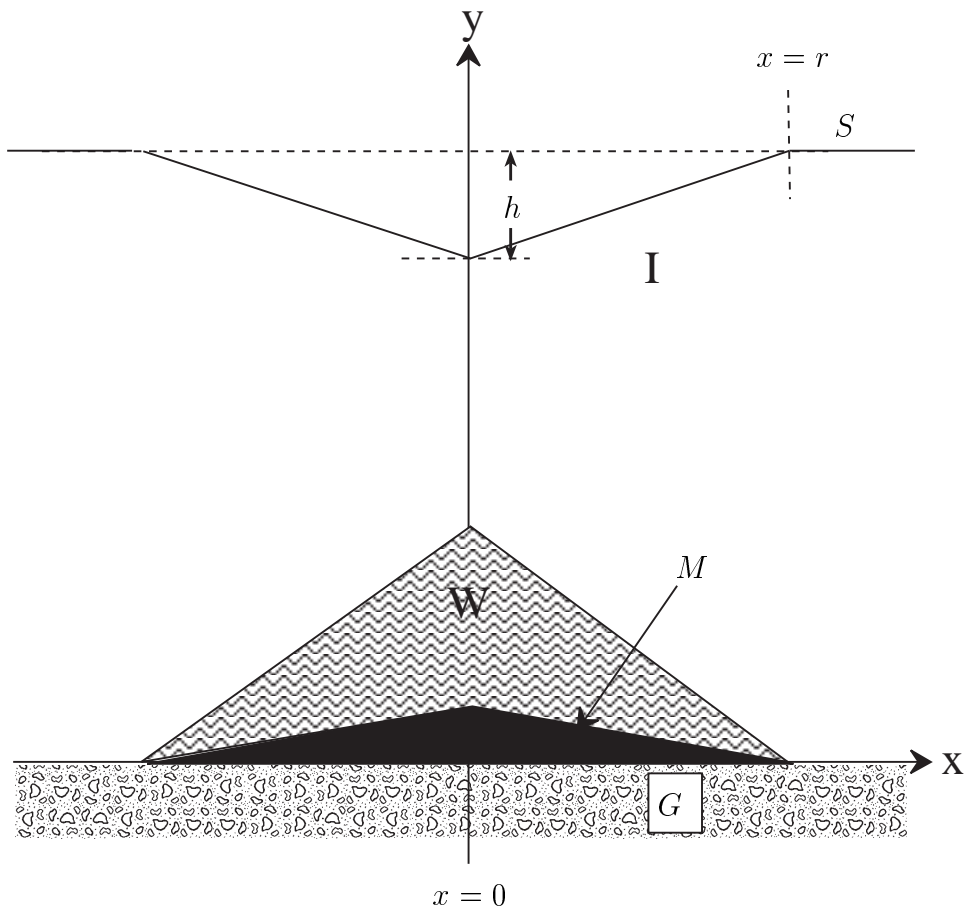


Figure 2.4: Lóðrétt þversnið gegnum miðju á keilulaga dæld í þíðjökli. S : efra bord, G : undirlag, I : jökulís, M : innskot kviku/bergs, W : vatn. Athugið að myndin er EKKI teiknuð í réttum hlutföllum.

vatnið safnast fyrir ofan á kvikuinnskotinu í stað þess að renna burt.

Ákvarðaðu eftirfarandi stærðir eins og þær verða eftir að varmajafnvægi hefur komist á. Skrifaðu svörin á svarblaðið.

1. Hæðin H á topppunkti vatnskeilunnar sem myndast undir ísnum, miðað við upphaflegan botn jökulsins.
2. Hæð berginnskotsins, h_1 .
3. Heildarmassi vatnsins sem myndast, m_{tot} , og massa vatnsins sem rennur burt, m' .

Teiknaðu á millimetrappír í réttum mælikvarða lögum berginnskotsins og vatnskeilunnar sem situr eftir. Notaðu hnitakerfið sem lagt er til á mynd 2.4.