



Rb/Sfb	(50)X	(J ₆)
Rb (50)X.001		

Keldnaholti, sími 570 7300

Ágúst 2002

1. INNGANGUR

Undanfarna áratugi hefur það fæst í vöxt á Íslandi að snjór á gangstéttum, bílastæðum og götum sé bræddur með varmagjöf frá snjóbræðslukerfum. Með snjóbræðslu verður snjómokstur að mestu óþarfur og öryggi vegfarenda eykst. Það sem gerir snjóbræðslu fýsilega á Íslandi er ódýr orka sem fæst frá jarðhitavatni sem víða er að finna í landinu. Er svo komið að sjálfsagt þykir að gera ráð fyrir snjóbræðslu við skipulagningu og endurnýjun miðbæja.

Við ákvörðun afls og orkunotkunar fyrir snjóbræðslu á sérhverjum stað skiptir veðurfar sköpum. Til dæmis er mikill munur á tíðni og magni snjókomu í Reykjavík og á Akureyri. Til að geta ákveðið varmaþörf þarf að greina tíðni snjókomu ásamt öðrum veðurfarsþáttum samtímis henni.

Fyrstu snjóbræðslukerfin voru lögð í Bandaríkjum N-Ameríku um 1950. Í Svíþjóð hófst þessi tækni um 1960. Talið er að fyrsta snjóbræðslulögn hérlendis hafi verið lögð í tröppur og stíg framan við Menntaskólann í Reykjavík árið 1952. Notuð voru stálrör sem lögð voru í sand undir hellur. Notast var við „katóðíska“ tæringarvörn til að verja rörin ryðskemmdum utanfrá. Árið 1965 var kerfið endurnýjað með hitapolnum plastpípum. Næsta snjóbræðslulögn var lögð í tröppur Austurbæjarskólans í Reykjavík árið 1955. Þegar stálrörin sem notuð voru höfðu tærst í sundur var lögnin endurnýjuð með plastpípum. Þriðja snjóbræðslukerfið með stálrörum var lagt í göng undir Miklubrautina í Reykjavík árið 1989. Fyrsta snjóbræðslukerfið með plaströrum sem vitað er um var lagt árið 1960 í bílapan framan við bílskúra í Safamýri 87 í Reykjavík. Upp úr 1970 var farið að leggja plastpípur í bílastæði og heimkeyrslur.

Hér verða fyrst gerð skil helstu hugtökum sem varða snjóbræðslu, svo sem varmaþörf, varmagjöf, aflþörf og afköstum. Einnig verður lítillega fjallað um rekstur snjóbræðslukerfa og kröfur sem gerðar eru til snjóbræðslu.



Mynd 1

Gangstígur með snjóbræðslu

Við útreikninga á varmaþörf eru teknir fyrir þeir fjórir veðurfarsþættir – snjócoma, loft-hiti, loftraki og vindhraði – sem hafa áhrif á varmaþörf. Skoðaðar eru jöfnur fyrir varmaþörfina og gerð er grein fyrir áhrifum snjóhulu á yfirborði snjóbræðsluflatar. Varmaþörfin ræðst af varma sem fer í að hita snjó upp í bræðslumark, bræða snjóinn, uppgufun, varmastreymi og geislun. Nauðsyn tíðnigreiningar á veðurfari til að ákvarða varmaþörf er tekin fyrir. Lögð er áhersla á mikilvægi varmageymis í jörðu, sagt frá jaðartöpum og áhrifum þeirra á varmagjöf og nauðsyn þess að reka snjóbræðslukerfið í hægagangi á frostdögum, jafnvel þótt ekki snjóí.

Við rannsókn á veðurfari í Reykjavík voru notuð gögn sem fengust hjá Veðurstofu Íslands. Þau eru mánaðar- og sólarhringsmeðaltöl fyrir árin 1961–1990. Ítarlegri gögn um mælingar á miklum snjóadögum á þessu tímabili fengust einnig hjá Veðurstofunni [6].

Lagt er mat á það hve marga klukkutíma snjóar á sólarhring á snjóadögum. Þetta er nauðsynlegt að gera til að geta notast við sólarhringsmeðaltöl við mat á varmaþörf. Tíðnigreining er gerð á snjókomu miðað við að sólarhringssnjócoma falli jafnt á þremur klukkustundum og gerðar eru athuganir á tíðni snjókomu í mismunandi miklu frosti. Varmaþörf sem fall af

snjókomu er reiknuð og fundnar nálgunarlínur fyrir heildarvarmaþörf með línulegri bestun. Reiknuð er varmaþörf miðað við mismunandi mikla snjóhulu á upphituum fleti. Út frá þessum reikningum er fundin jafna sem gildir fyrir varmaþörf í Reykjavík sem fall af snjókomu og snjóhulu. Sýnd eru á línuriti frávik frá nálgunarlínunni fyrir heildarvarmaþörf og reiknuð skekkjumörk. Í líkindareikningum eru teknir allir snjóadagar á tímabilinu 1961–1990 og staðalfrávik frá meðalsnjókomu reiknað miðað við að snjókoma og varmaþörf séu normaldreifð. Leidd er út jafna fyrir nauðsynlega varmagjöf til að uppfylla varmaþörf þar sem tekið er tillit til jaðartapa.

Varmaþörf er reiknuð þegar snjóbræðslukerfið er í hægagangi. Sýnt er fram á afgerandi áhrif yfirborðshita á varmaþörf. Gerður er samanburður á árlegri orkuþörf miðað við mismunandi stýringu á yfirborðshita. Loks eru niðurstöður rannsókna dregnar saman.

2. ALMENNT UM SNJÓBRÆÐSLU

2.1 Varmaþörf og varmagjöf

Varmaþörf snjóbræðslukerfis er annars vegar háð veðurfari og hins vegar kröfum um afköst snjóbræðslu, þ.e. bræðsluhraða. Varmagjöf og afköst snjóbræðslukerfis eru háð bili milli röra í jörð, dýpt röra, rennsli og hitamun vökva í rorum og yfirborðs, þvermáli og varmaleiðni píþna og varmaleiðni jarðvegs. Hversu mikil varmagjöfin er ákvarðast af varmaþörf og jaðartöpum.

Ýtrustu kröfur um snjóbræðslu eru að alltaf sé auð jörð eða því sem næst. Slíkar kröfur eru í flestum tilfellum óraunhæfar vegna kostnaðar. Við litla varmagjöf, og þá lítil afköst, getur tekið langan tíma að bræða snjó. Fer það eftir því hversu lengi snjókoma varir, hversu oft snjóar og hversu mikið. Þegar jörð er auð getur álag á snjóbræðslukerfið verið mikið þótt ekki snjói, einkum ef vindur blæs kröftuglega. Í frosti er nauðsynlegt að halda yfirborðshita hærra en úti-hita til að koma í veg fyrir ísingu. Þegar

tekur að snjóa þarf að vera tiltækur varmaforði í jarðveginum og yfirborðslaginu. Þessi varmaforði bræðir snjóinn fyrst eftir að snjókoma hefst og verkar sem mótvægi við hæg viðbrögð snjóbræðslukerfisins.

Hvað telst hæfilegur varmaforði í snjóbræðslusvæðinu fyrir snjókomu er háð því hverra veðra er von. Með of lágum yfirborðshita hleðst snjór upp í mikilli snjókomu. Þess ber að gæta að dýrt getur verið að halda við miklum varmaforða.

2.2 Afþörf

Þegar snjóar þarf varma til að hita snjó upp í 0°C og síðan varma til að bræða snjóinn. Þegar jörð er auð tapast varmi frá yfirborði til umhverfis vegna geislunar og varmastreymis með lofti (convection). Þetta tap er háð lofthita og vindhraða. Auk þessa á sér stað varmatap vegna uppgufunar vatns. Uppgufun, varmastreymi og geislun er háð snjóhulu á snjóbræðslufletinum, þ.e. hlutfalli milli flatarmáls yfirborðs af auðri jörð og heildarflatarmáls yfirborðs snjóbræðslusvæðis. Mestu afköst eða toppafl snjóbræðslukerfis eru ákveðin eftir tíðni veðurþátta sem hafa áhrif á snjóbræðslu og rannsókn á samspili þeirra til margra ára.

Varmi tapast einnig niður í jörðina og t hliðar við snjóbræðslusvæðin. Samkvæmt bandarískum heimildum er þetta tap um 30–50% af aðfluttum varma, háð yfirborðsfrágangi, hitastigi snjóbræðsluvökvans og stærð snjóbræðslusvæða. Hér mun vera reiknað með óstöðugri upphitun svæða og varmatapi til skamms tíma. Varmatap við stöðuga upphitun er mun lægra.

2.3 Afköst

Með afköstum snjóbræðslu er átt við hversu hratt snjóbræðslukerfið getur brætt nýfallinn snjó. Varmaleiðni jarðvegs umhverfis snjóbræðsluslöngrur hefur mikil áhrif á afköst snjóbræðslunnar. Snjóbræðsluafköst ráðast fyrst og fremst af yfirborðshita. Snjóbræðsluslöngrur sem lagðar eru undir hellum afkasta meira en slöngrur undir malbiki, en minna en slöngrur í steypu plani.

Mismunur á varmagjöf og afköstum stafar frá jaðartöpum, þ.e. varma sem tapast niður í jörð, baktöpum, og til hliðar við snjóbræðslusvæðið, hliðartöpum.

2.4 Rekstur snjóbræðslukerfis

Þá daga yfir rekstrarmánuðina sem hitinn er yfir frostmarki er reiknað með að snjóbræðslukerfið sé rekið með grunnaflí, $q_{grunnafl}$. Grunnaflíð er gjarnan ákvarðað með hliðsjón af afli sem þarf til að bræða snjó á frostdögum í heitasta rekstrar-mánuðinum.

Þá daga sem hitinn er undir frostmarki og ekki snjóar er snjóbræðslukerfið rekið með afli sem nægir til að koma í veg fyrir ísingu og að snjóbræðsla geti hafist um leið og byrjar að snjóa. Þetta afl er kallað $q_{hægagangur}$ og er það afl sem þarf þegar snjóbræðslukerfið er í hægagangi. Aflið er af sömu stærðargráðu og varmatap vegna geislunar og leiðni.

Þegar snjóar er bætt enn meira af heitu vatni við bakrennslisvatnið til að bræða snjóinn. Afköst snjóbræðslunnar ráðast af magni þess vatns sem fyrir hendi er og hámarksafköstum sem snjóbræðslukerfið ræður við. Hver mestu afköst snjóbræðslunnar geta verið hverju sinni er ákveðið með stillingu stjórnbúnaðar og ákvarðast af kröfum um snjóbræðslu og rekstrarkostnaði sem menn geta sætt sig við.

2.5 Kröfur um snjóbræðslu

Gerðar eru mismunandi kröfur um snjóbræðslu eftir aðstæðum. Gerðar eru meiri kröfur um snjóbræðslu í innkeyrslum inn á bílastæði en í bílastæðunum sjálfum. Einnig eru gerðar meiri kröfur um snjóbræðslu í fjölförnum gangstígum en afskekktum. Í götum og á torgum eru gerðar svipaðar kröfur og í bílastæðum og gangstígum almennt. Komið er til móts við auknar kröfur um snjóbræðslu á hverjum stað með því að hafa minna bil á milli snjóbræðsluslanganna. Auknar kröfur um snjóbræðsluafköst fást hins vegar með hærri vatnshita í slöngunum.

3.0 ÚTREIKNINGAR Á VARMAPÖRF

3.1 Fjórir veðurfarsþættir

Fjórir veðurfarsþættir hafa áhrif á hitaþörf fyrir snjóbræðslu: (1) snjókoma, (2) lofthiti, (3) raki og (4) vindhraði. Áhrif þessara veðurþátta er hægt að meta með því að athuga hvað verður um snjó sem fellur á upphitað yfirborð.

Þegar byrjar að snjóa falla fyrstu snjókornin á þurr og heitt yfirborð jarðar þar sem þau hitna upp í 0°C og bráðna. Vatnið frá bræddum snjónum myndar vatnsfilmu yfir allt svæðið og byrjar að gufa upp. Uppgufunin er massa- og varmaflutningur frá yfirborðinu til andrúmsloftsins. Einnig á sér stað varmaflutningur frá vatnsfilmunni til umlykjandi lofts og yfirborðs hluta með loftstreymi og geislun. Þessa varmatilfærslu má skilgreina á eftirfarandi hátt:

Upphitunarvarmi

Varmaflutningur til snævar, þ.e. varmi sem þarf til að hita snjó upp í 0°C. Hann ræðst af hitastigi snjókornanna og snjókomu, þ.e. hversu mikið snjóar.

Bræðsluvarmi

Varmi sem þarf til að bræða snjóinn. Hann ræðst af snjókomu.

Uppgufunarvarmi – massaflutningur við uppgufun

Uppgufunarhraði brædds snævar á upphituðu yfirborði ræðst af vindhraða og mismuni á gufuþrýstingi milli lofts og hins brædda snævar. Gufuþrýstingur lofts ákvarðast af hlutfallslegu rakastigi og lofthita. Hlutfallslegt rakastig er hlutfall milli rakamagns í lofti og þess magns sem mest gæti verið við metun miðað við sama hita. Ef yfirborðshiti er fastur breytist uppgufunarhraðinn með breytingum á lofthita, rakastigi og vindhraða.

Varmaflutningur vegna varmastreymis með lofti (varmaburður, „convection“) og geislunar

Varmatap vegna loftstreymis og geislunar frá röku yfirborði, eins og frá filmu brædds snævar á yfirborði jarðar, til loftsins er háð filmustuðli (yfirborðsmótstöðu) og mismun

á hitastigi yfirborðs og lofts. Filmustuðullinn er einungis fall af vindhraða. Þegar yfirborðshiti er fastur breytist varmatap vegna loftstreymis og geislunar með breytingum á lofthita og vindhraða.

3.2 Snjóautt flatarmálshlutfall

Áður en hægt er að leiða út meginleg („quantitative“) gildi áhrifa veðurfarsþátta verður að taka til athugunar einangrunaráhrif óbrædds snævar. Á meðan verið er að hita upp snjóflögur og áður en þær eru að fullu bræddar, virka þær eins og litlar ábreiður eða einangrarar. Áhrif þessarar einangrunar geta verið mikil. Á meðan snjóflögurnar hylja hluta yfirborðsins er hentugt að líta á einangrunaráhrifin sem hlutfall flatarmáls. Snjóautt flatarmálshlutfall, $A_{\text{snjóautt hlutfall}}$, er hlutfall yfirborðs af auðri jörð og heildarflatarmáls yfirborðs upphitaðs flatar:

$$A_{\text{snjóautt hlutfall}} = A_{\text{snjóautt}} / A_{\text{heild}} \quad (1)$$

þar sem

$$\begin{aligned} A_{\text{snjóautt hlutfall}} &= \text{hlutfall flatarmáls af auðri} \\ &\quad \text{jörð og heildarflatarmáls} \\ A_{\text{snjóautt}} &= \text{snjóautt flatarmál, m}^2 \\ A_{\text{heild}} &= \text{heildarflatarmál, m}^2 \end{aligned}$$

Því er

$$0 \leq A_{\text{snjóautt hlutfall}} \leq 1$$

Til þess að $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 1$ verður kerfið að bræða snjó svo hratt að enginn snjór safnist upp. Það er ekki mögulegt, en við hönnun snjóbræðslukerfa er leyfilegt að gera ráð fyrir að $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 1$. Þegar $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 0$ verður yfirborðið að vera algjörlega hulið það þykkum snjó að hann nægi til að hindra uppgufun og varmaburð. Rannsóknir á einangrunaráhrifum snævar benda til þess að í reynd sé nægilegt að beita einu af þremur gildum fyrir snjóautt flatarmálshlutfall – $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 0; 0,5; 1$.

3.3 Varmajöfnur

Chapman og Katunich leiddu árið 1956 út almenna jöfnu fyrir nauðsynlega hitagjöf til yfirborðs snjóbræðslusvæðis [2], þ.e. varmaþörf, sem er eftirfarandi:

$$Q_{\text{varmaþörf}} = Q_{\text{upphitun}} + Q_{\text{bræðsla}} + A_{\text{snjóautt hlutfall}} \cdot (Q_{\text{uppgufun}} + Q_{\text{streymi/geislun}}) \quad (2)$$

þar sem

$$\begin{aligned} Q_{\text{upphitun}} &= \text{varmaflutningur til} \\ &\quad \text{snævar, W/m}^2 \\ Q_{\text{bræðsla}} &= \text{bræðsluvarmi, W/m}^2 \\ A_{\text{snjóautt hlutfall}} &= \text{snjóautt flatarmálshlutfall,} \\ &\quad \text{einingarlaus stærð} \\ Q_{\text{uppgufun}} &= \text{uppgufunarvarmi, W/m}^2 \\ Q_{\text{streymi/geislun}} &= \text{varmaflutningur með streymi} \\ &\quad \text{og geislun, W/m}^2 \end{aligned}$$

3.4 Tíðnigreining

Við lausn á jöfnu (2) verður að taka samtímis til athugunar alla fjóra veðurfarsþættina, þ.e vindhraða, lofthita, rakaþrýsting lofts og snjókomu. Árleg meðaltöl eða hæstu gildi fyrir einstaka veðurfarsþætti er ekki hægt að nota vegna þess að engar líkur eru á því að hæstu veðurfarsgildin eigi sér stað samtímis. Þess vegna er nauðsynlegt að gera tíðnigreiningu á snjókomu ásamt öðrum veðurfarsþáttum, eins og þeir eru á meðan snjóar, yfir ákveðið árabíl.

3.5 Varmageymir

Varmarýmd segir til um hve mikill varmi geymist í tilteknum massa. Mikla orku þarf til að hita upp jarðveg undir snjóbræðslufleti. Byggja verður upp og viðhalda varmageymi í jarðveginum til þess að hann sé viðbúinn þegar byrjar að snjóa og snjóbræðsla hefst, annars fer of langur tími og of mikil orka frá snjóbræðslukerfinu til varmageymisins í stað þess að fara til yfirborðsins. Við útreikning kemur í ljós að reikna má með allt að tveimur mánuðum á haustin til að byggja upp varmageymi í óhituðum jarðvegi [4].

3.6 Jaðartöp

Afköst eru sá hluti varmagjafar sem kemst upp á yfirborðið til að bræða snjó og svarar til varmaþarfar sem þarf til að viðhalda tilteknum hita á yfirborði. Sá hluti varmagjafar sem ekki kemst upp á yfirborðið fer annaðhvort í það að hita upp jarðveginn neðan við snjóbræðslulöngurnar eða tapast. Varmi sem hitar upp jarðveginn byggir upp og heldur við varmaforða í jörðinni. Sá varmi er seinn að skila sér upp á yfirborðið og nýtist fyrst og fremst sem varmaforði en að jafnaði ekki til að bræða snjó. Sá hluti varmagjafar sem tapast er kallaður jaðartöp. Þau eru töp niður í jörð, baktöp, og töp til hliðar, hliðartöp. Við hliðartöp berst varmi út til umhverfisins og leitar til yfirborðsins til hliðar við sjálft snjóbræðslusvæðið. Sá varmi nýtist ekki og er tapaður varmi. Hlutfall jaðartapa er hærra eftir því sem varmamótstaða í yfirborði er meiri. Varmatöp við stöðuga upphitun eru miklu minni en varmatöp við óstöðuga upphitun. Hér á landi er algengt að vera með stöðuga upphitun með notkun bakrennslis hitaveituvatns frá húsum sem stöðugt er látið renna í gegnum snjóbræðslukerfið.

Til að varmagjöf nægi fyrir varmaþörf verður hún að duga fyrir bæði nýttum og ónýttum varma, þ.e. varma upp og varma niður og til hliðar. Jafna fyrir varmagjöf verður

$$q_{\text{varmagjöf}} = q_{\text{varmaþörf}} + q_{\text{jaðartöp}} \quad (3)$$

eða

$$q_{\text{varmagjöf}} = k \cdot q_{\text{varmaþörf}} \quad (3a)$$

þar sem k er margföldunarstuðull fyrir jaðartöp.

Jaðartöp eru, á sama hátt og varmagjöf og afköst, háð ýmsum breytum svo sem veðráttu, aðallega útihita og vindhraða, yfirborðshita, varmamótstöðu í yfirborði, varmaleiðni jarðvegs og hita vökva í snjóbræðslulöngum. Það sem er afgerandi fyrir afköst og jaðartöp eru gerð yfirborðs, stærð snjóbræðslusvæðis og lögun. Gerð sands eða hlífðarlags og dýpt snjóbræðsluslangna undir yfirborði hafa sömuleiðis mikil áhrif. Í flestum tilfellum má reikna með að álagsstuðullinn sé á bilinu 1,1 til 1.5, þ.e. $1,1 \leq k \leq 1,5$.

4.0 VARMAÞÖRF

4.1 Veðurfarsathuganir

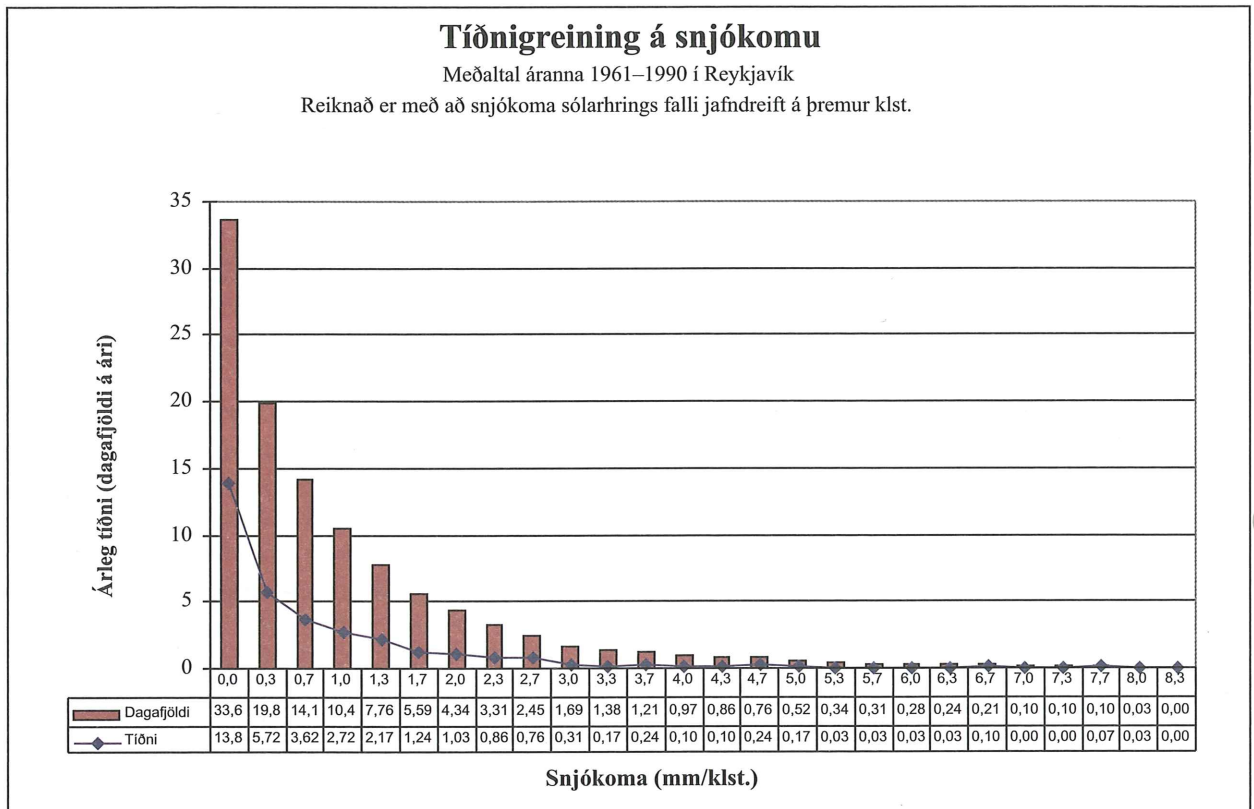
Veðurfarsgögn fengust frá Veðurstofu Íslands. Þau ná yfir mælingar á þrjátíu ára tímabili, árunum 1961–1990, í veðurathugunarstöðinni í Reykjavík. Fyrst og fremst er um að ræða sólarhringsmeðaltöl mælinga á þeim veðurfarsþáttum sem skipta máli við útreikning á varmaþörf vegna snjóbræðslu. Einnig fengust ýmis mánaðar-meðaltöl fyrir þetta tímabil og loks nánari upplýsingar um mikla snjókomudaga. Við mat á varmaþörf snjóbræðslukerfa, samkvæmt jöfnu (2), er þetta þrjátíu ára tímabil notað til að gera tíðnigreiningu á snjókomu og öðrum veðurfarsþáttum.

4.2 Tíðnigreining á snjókomu

Við mat á varmaþörf verður, eins og áður segir, að gera tíðnigreiningu á snjókomu ásamt öðrum veðurfarsþáttum, þ.e. lofthita, vindhraða og rakastigi, yfir ákveðið árabil. Við nánari athugun á tíðni og tímalengd snjókomu lætur nærri að það snjóí samtals í þrjár klukkustundir þá sólarhringa sem snjóar. Hér verður því miðað við að sólarhringssnjókoma sé samfelld og jöfn í þrjár klukkustundir. Snjókoman er þannig átta sinnum meiri í mm á klukkustund heldur en ef hún dreifist jafnt yfir allan sólarhringinn.

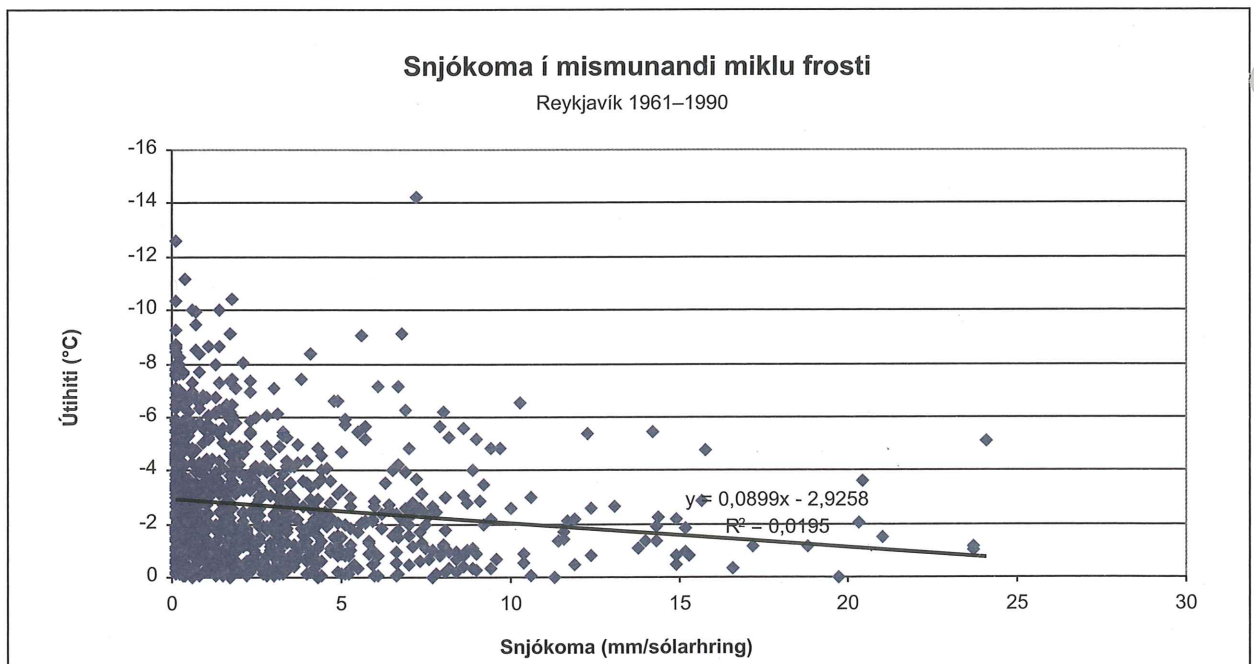
Línurit 1 sýnir tíðnigreiningu á snjókomu í meðalári þar sem gert er ráð fyrir að sólarhringssnjókoma falli jafndreift á þremur klukkustundum. Af línutítnu má t.d. lesa að á 1,03 dögum í meðalári snjóar 2,0 mm/klst. en á 4,34 dögum 2,0 mm/klst. eða meira.

Nú er vindur mjög breytilegur innan hvers sólarhrings og lofthiti getur sömuleiðis breyst mjög ört. Ekki er því líklegt að vindhraði og hitastig séu nákvæmlega þau sömu meðan snjóar og sólarhringsmeðaltölin segja til um. Þegar tekið er jafnlangt tímabil og hér er gert jafnast þessar skekkjur þó út og reikningar verða nægilega nákvæmir.



Línurit 1

Árleg tíðni snjókomu og fjöldi daga á ári með tiltekinni snjókomu eða meiri



Línurit 2

Athugun á snjókomu í mismunandi miklu frosti

Rakaþrýstingur er einnig breytilegur innan hvers sólarhrings. Reikna má með að rakastig og þá um leið rakaþrýstingur sé meiri á meðan snjóar heldur en á undan og eftir. Ætla má að hlutfallslegt rakastig sé gjarnan um 80% meðan á snjókomu stendur. Rakaþrýstingur ræðst af hlutfallslegu rakastigi ásamt hitastigi.

Forvitnilegt er að vita hvort það snjóar meira í vægu frosti en í miklu. Þegar borið er saman snjómagn og hitastig á árunum 1961–1990 sést að snjókoma virðist hafa tilhneigingu til að vera minni eftir því sem frost er meira. Það sést á línuriti 2. Lárétti ásinn sýnir snjómagn og lóðrétti ásinn úti-hita. Punktarnir sýna mæligildi fyrir sér-hvern sólarhring á ofanefndu tímabili. Línan er nálgunarlína með bestu jöfnun og hefur hún halla aðeins niður á við, þ.e. það snjóar meira í vægu frosti en miklu.

Þessum samanburði verður að taka með varúð því frávík eru mikil. Auk þess verður að hafa í huga að útihitastig eru sólarhringsmeðaltöl en snjókoma varir misjafnlega lengi og jafnan aðeins í nokkrar klukkustundir í einu. Auk þess getur útihiti á þeim tíma sem snjóar verið töluvert annar en sá meðalútihiti sem sami sólarhringur hefur.

4.3 Varmapörf

Hin almenna jafna fyrir varmaþörf til yfirborðs snjóbræðslusvæðis er eins og áður segir: $q_{\text{varmaþörf}} = q_{\text{upphitun}} + q_{\text{bræðsla}} + A_{\text{snjóautt hlutfall}} (q_{\text{uppgufun}} + q_{\text{streymi/geislun}})$.

Línurit 3 sýnir þá þætti sem mynda varmaþörf sem fall af snjókomu eins hún var á árunum 1961–1990, miðað við að sólarhringsssnjókoma falli jafndreifð á þremur klukkustundum samtals og snjóbræðsla sé svo öflug að hún hafi undan snjókomu þannig að jörð sé ávallt auð, þ.e. $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 1$. Á línuritinu eru einnig sýndar nálgunarlínur fyrir heildarvarmaþörfina, annars vegar línuleg nálgunarlína og hins vegar margliða.

Upphitun snævar, q_{upphitun} , er hverfandi lítill þáttur af varmaþörfinni. Meðalhitastig í snjókomu er $-2,78^{\circ}\text{C}$, svo að öllu jöfnu þarf ekki að hita snjóinn nema um örfáar gráður.

Bræðsla snævar, $q_{\text{bræðsla}}$, er afgerandi þáttur í varmaþörfinni, sem vex línulega með aukinni snjókomu.

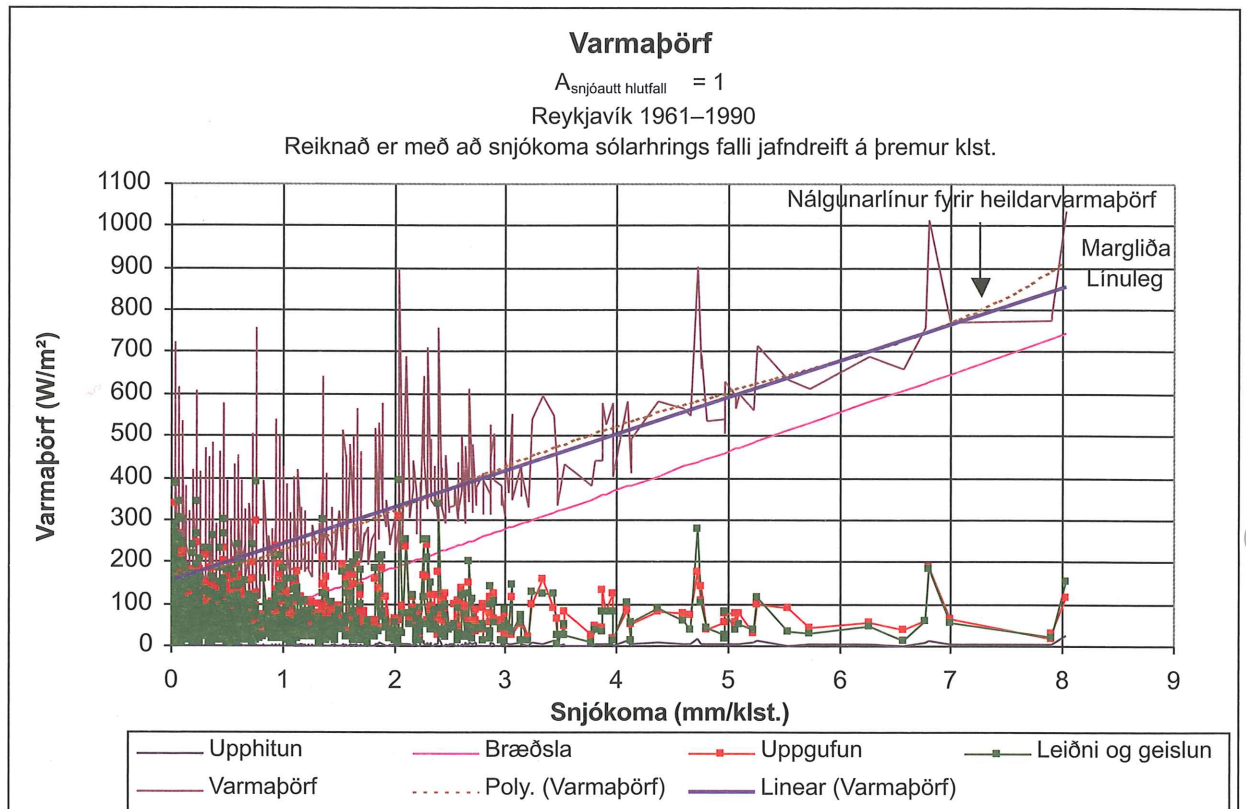
Uppgufun bráðins snævar, q_{upphitun} , og varmastreymi og geislun, $q_{\text{streymi/geislun}}$, eru óháð snjókomu að öðru leyti en því að hvaða marki lyfirborð snjóbræðslufatar er hulið snjó.

Vindhraði og rakaþrýstingur í loftinu hafa áhrif á uppgufun. Vindurinn hefur að öllu jöfnu meiri áhrif en rakaþrýstingurinn á uppgufun. Meðalvindhraði á sólarhring á snjókomudögum er 6,45 m/s. Vindurinn hefur að jafnaði fimmfalt meiri áhrif á uppgufun miðað við að enginn vindur væri.

Rakaþrýstingur er háður hita og hlutfallslegum raka í loftinu. Þegar snjóar er hlutfallslegur raki í loftinu eitthvað hærra en meðalrakaþrýstingur og meðalútihiti sólarhrings segja til um. Þannig er rakaþrýstingurinn, sem hér miðast við sólarhringsmeðaltöl, aðeins vanreiknaður og uppgufun því aðeins ofreiknuð. Meðalrakaþrýstingur er 0,4 kPa og meðalútihiti $-2,68^{\circ}\text{C}$ á snjóadögum. Hlutfallslegur raki er við þær aðstæður 80%.

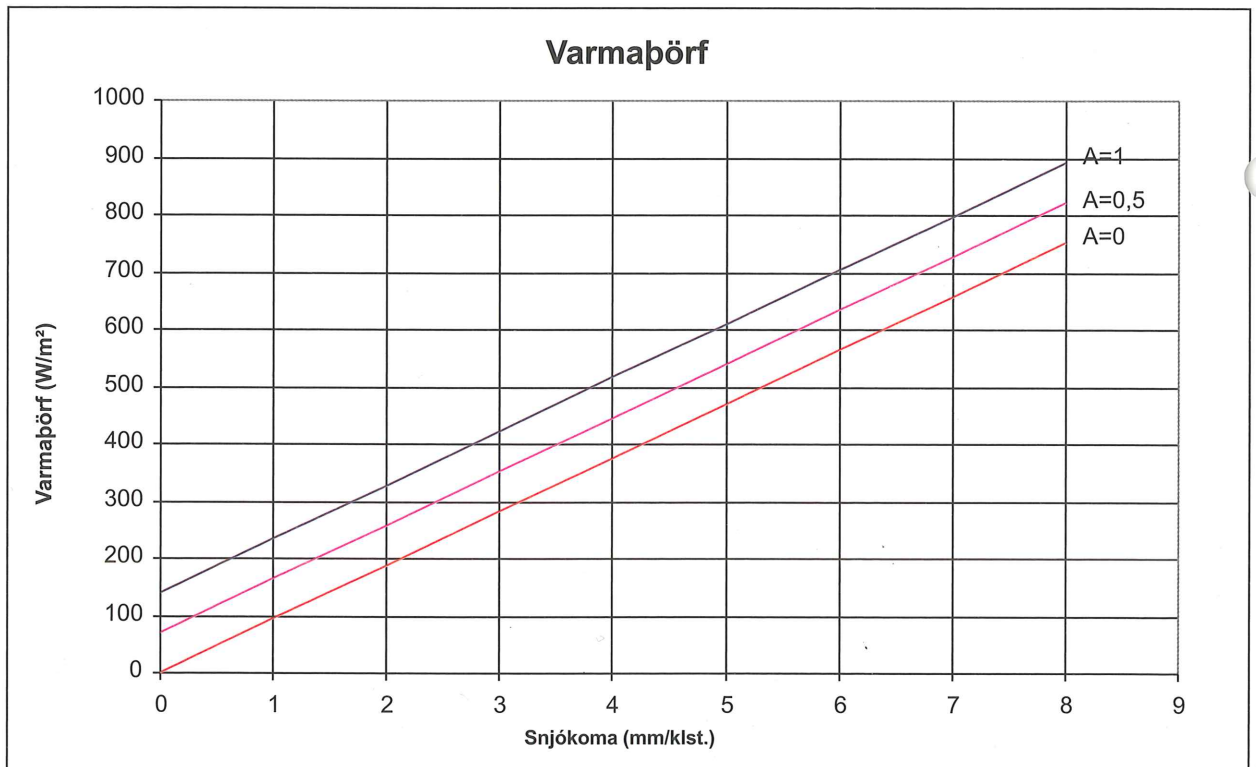
Vindur hefur mikil áhrif á varmastreymi frá yfirborði. Varmastreymi og geislun er 1,4 sinnum meiri þegar meðalvindhraði er 6,45 m/s heldur en þegar enginn vindur er. Eftir því sem kaldara er í veðri verður varmatapið að sama skapi meira.

Varmaþörf sem fall af snjókomu er hægt að nálgast með línulegri bestun. Með því að athuga hallatölur á ferli fyrir varmaþörf á bilum með mismunandi mikilli snjókomu og snjóhulu er með nægilegri nákvæmni hægt að nálgast eftirfarandi línulega jöfnu fyrir varmaþörf í snjókomu í Reykjavík:



Línurit 3

Varmaþörf snjóbræðslu – engin snjöhula



Línurit 4

Varmaþörf; $A_{\text{snjóautt hlutfall}}$ breytilegt

$$q_{\text{varmaþörf}} = 140 \cdot A_{\text{snjóautt hlutfall}} + 94 \cdot s \quad (4)$$

þar sem $q_{\text{varmaþörf}}$ er varmaþörf í W/m^2 og s er snjókoma í $mm/klst.$

Í línuriti 4 kemur fram varmaþörf sem fall af snjókoma með breytilegri snjöhulu, með $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 0; 0,5; 1.$

Í tíðnigreiningu kom í ljós að lítil snjókoma er miklu algengari en mikil. Sömuleiðis snjóar oftast þegar frost er vægt. Úrkoma í vægu frosti er oft slydda.

Það þarf $140 W/m^2$ meiri varma til að halda jörð ávallt auðri, $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 1$, miðað við að hún sé hulin snjó, $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 0$, meðan á bræðslu stendur og munurinn er $75 W/m^2$ þegar jörð er hálfþakin snjó, $A_{\text{snjóautt hlutfall}} = 0,5$.

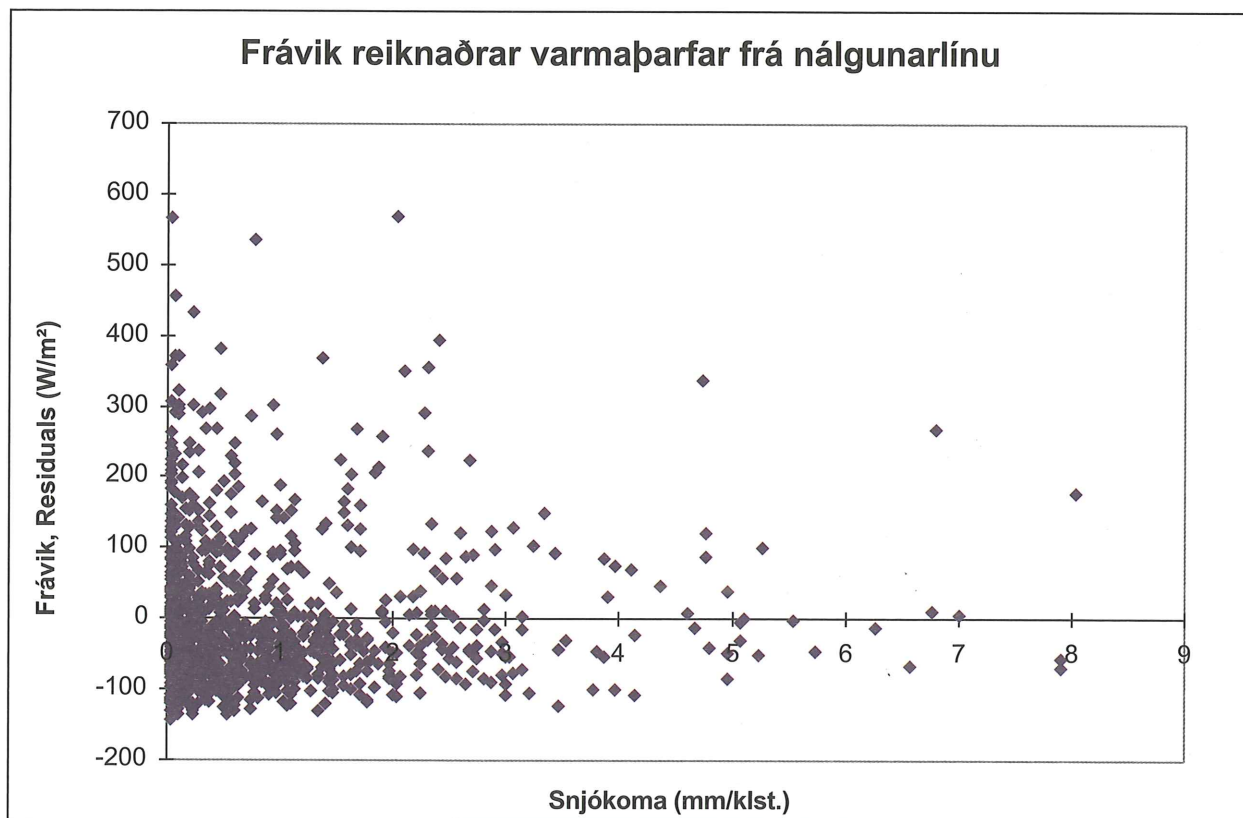
Þegar yfirborð er hulið snjó á engin upp-
gufun sér stað. Aftur á móti á hún sér stað
þegar yfirborð er snjóautt og með vatns-

filmu eftir bráðinn snjó. Eftir því sem vatn rennur fljótar í niðurföll eða út af snjóbræðslusvæðum stendur upp-
gufunin skemur yfir. Varmastreymi og geislun frá yfirborði snjóbræðsluflatar eiga sér
sömuleiðis ekki stað þegar yfirborðið er hulið snjó, en hins vegar alltaf meðan yfirborð er autt eða að hluta hulið snjó, sama hvort snjóar eða ekki. Varmastreymi og geislun getur verið á báða vegu, til eða frá jörð. Það fer eftir því hvort lofthiti og umhverfishiti er hærra eða lægri en yfirborðshiti snjóbræðsluflatar.

Þegar um er að ræða slyddu eða litla snjókoma er aukin varmagjöf frá snjóbræðslukerfi í mörgum tilfellum ekki nauðsynleg vegna þess að uppsöfnuð varmarýmd er í jörðu við yfirborð er nægileg til að bræða snjóinn.

4.4 Skekkjumörk

Línurit 5 sýnir þýði frávika reiknaðrar varmaþarfar frá nálgunarlínu þýðisins. Fylgni,



Línurit 5

Frávik frá nálgunarlínu fyrir varmaþörf

„multiple R“, er 0,70 og R-gildi eða „R-squares“ er 0,49. Í þessari aðhvarfsgreiningu, „regression“, er nálgunarlínun línuleg bestun sem hefur minnstu summu fervika, $\sum(x_f - x_m)^2$.

Frávik á ferli fyrir varmaþörf er mikið frá nálgunarlínunum. Hið svokallaða „R-squared value“ fyrir nálgunarlínurnar er um 0,5. Það gildir einnig fyrir jöfnuna $q_{varmaþörf} = 140 \cdot A_{snjóautt hlutfall} + 94 \cdot s$. Þess má geta að ef R-gildið er 1 er ekkert frávik frá jöfnunarlínu.

4.5 Líkindareikningur

Í útreikningum fyrir varmaþörf eru teknir allir snjóadagarnir, sem voru 976 á tímabilinu 1961–1990. Allt þíðið er sem sagt tekið. Meðalgildi fyrir varmaþörf þegar snjóar, miðað við að snjómagn sem mælist falla á sólarhring falli jafndreift samtals á þremur klukkustundum, er 235 W/m².

Ef miðað er við að snjókoma og varmaþörf séu normaldreifð og jörð ávallt auð eru tvö staðalfrávik, 2σ , 290 W/m². Það þýðir að 5% líkur eru á því að varmaþörf verði meiri en 525 W/m². Líkindi fyrir að snjókoma sem er einu staðalfrávik yfir meðaltali, 380 W/m² svara til 33% líkinda og líkindi fyrir þremur staðalfrávikum yfir meðaltali, 670 W/m², svara til 1% líkinda. Á sama hátt, þegar yfirborð er þakið snjó meðan á snjóbræðslu stendur, er meðalgildi varmaþarfar 87 W/m² og tvö staðalfrávik 216 W/m². 5% líkindi eru þá fyrir því að varmaþörf fari yfir 303 W/m², 33% líkindi yfir 195 W/m² og 1% líkindi yfir 411 W/m².

4.6 Varmagjöf

Varmagjöf til snjóbræðslu verður að vera næg, bæði fyrir varmaþörf og jaðartöp.

Samkvæmt jöfnu (3a) og (4) fæst jafna fyrir varmagjöf snjóbræðslukerfa í Reykjavík

$$q_{varmaþörf} = k \cdot (140 \cdot A_{snjóautt hlutfall} + 94 \cdot S) \quad (5)$$

þar sem $q_{varmaþörf}$ er varmaþörf í W/m² og s er snjókoma í mm/klst.

5. ORKUPÖRF

5.1 Hægagangur

Af veðurfarsupplýsingum er hægt að geta sér til um orkupörf á rekstartíma snjóbræðslukerfa. Þegar frost er og engin snjókoma, útihiti 0°C eða lægri, getur snjóbræðslukerfið verið í hægagangi. Varmi er þá leiddur til jarðvegsins svo að snjóbræðsla hefist jafnskjótt og snjór byrjar að falla.

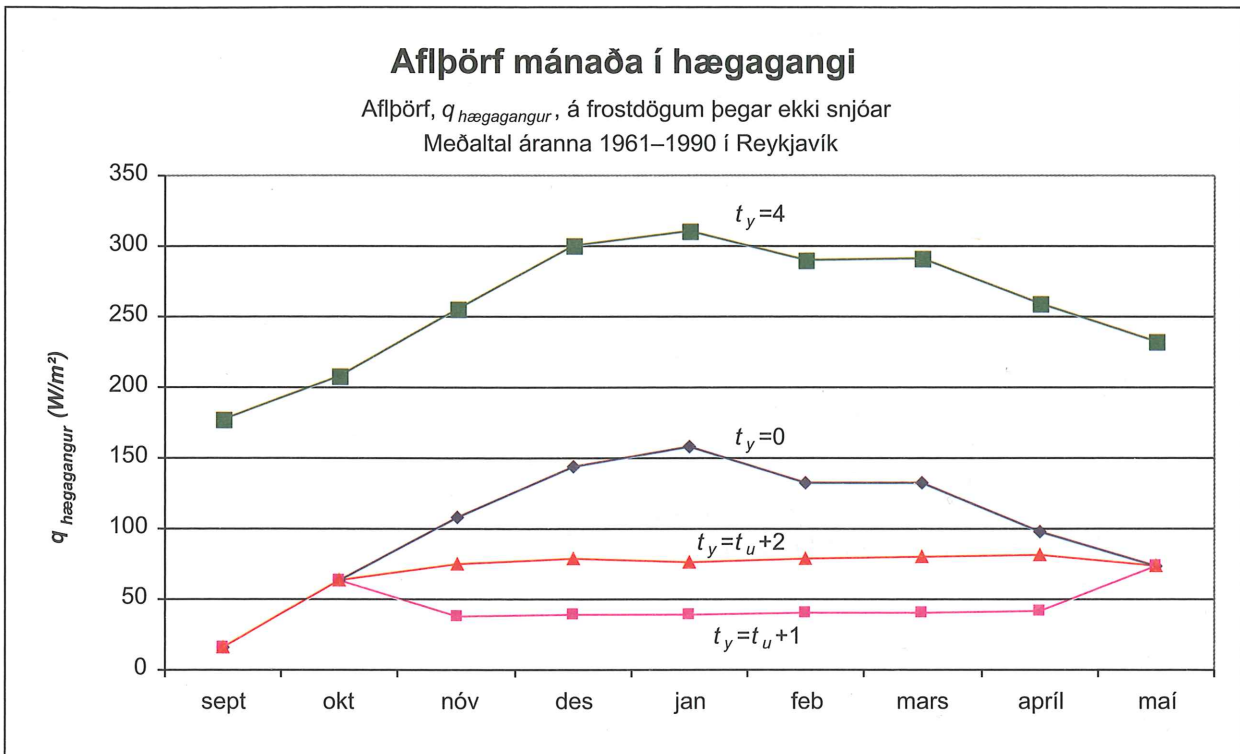
Það afl sem nauðsynlegt er til að anna varmaþörf til að halda yfirborði snjóbræðsluflatar frostlausu, þegar frost er og ekki snjóar, er kallað álag í hægagangi, $q_{hægagangur}$. Yfirborðið verður þá laust við hrím og hálfu. Flest snjóbræðslukerfi ganga í hægagangi þegar alskýjað er og útihiti er rétt undir frostmarki.

5.2 Áhrif yfirborðshita á aflþörf í hægagangi

Til að geta reiknað aflþörf á frostdögum þegar ekki snjóar þarf að vita hver yfirborðshiti snjóbræðsluflatar er. Aflþörfin er háð hitamun á yfirborðshitastigi og útihitastigi. Mikilvægt er því að sá munur sé sem minnstur.

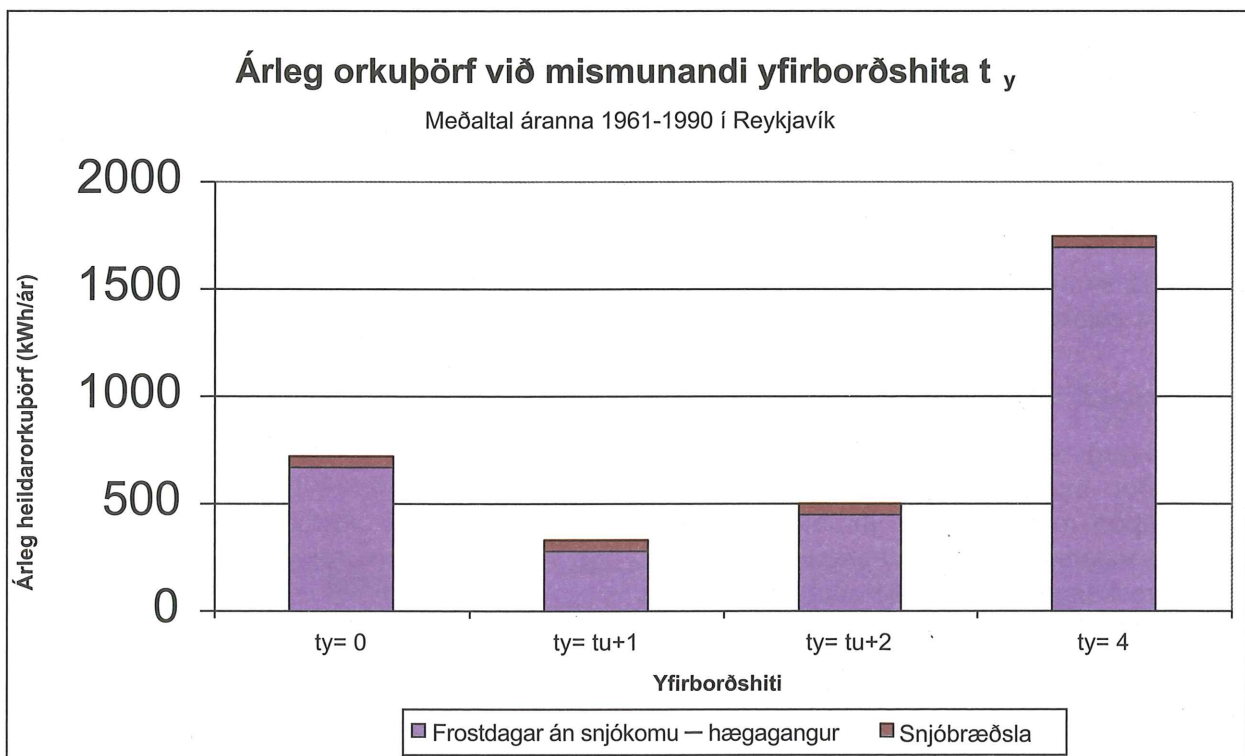
Í rekstri snjóbræðslukerfa er algengt að halda yfirborðshita yfir frostmarki, oft um 4°C. Með því að láta yfirborðshita vera breytilegan og fylgja útihita má í frosti spara umtalsverða orku sem annars fer forgörðum þegar yfirborðshita er haldið föstum. Þá þarf að gæta þess að yfirborðshitinn í frosti sé aðeins hærrí en útihiti til að forðast ísingu. Línurit 6 sýnir mun á meðalafli mánaða í hægagangi þegar yfirborðshita í frosti er haldið í 0°C og í 4°C.

Einnig er sýnt hversu miklu minna afl þarf þegar yfirborðshiti er látinn fylgja útihita í frosti, annars vegar þegar hitamunur á yfirborðshita og útihita er hafður 2°C og hins vegar 1°C.



Línurit 6

Meðal aflþörf mánaða í hægagangi



Línurit 7

Árleg orkuþörf

5.3 Árleg orkupörf

Í línuriti 7 er gerður samanburður á árlegri orkupörf miðað við að yfirborði sé haldið mismunandi heitu í frosti þegar ekki snjóar. Orka sem fer í að bræða snjó er í öllum tilfellum sú sama, 50 kWh, sem er aðeins um 7% af heildarorkunni, rúmlega 720 kWh, sem þarf þegar yfirborði er haldið í 0°C. Þegar yfirborði er haldið í 4°C er heildarorkan um 1750 kWh, þ.e. næstum 2,5 sinnum meiri. Heildarorkan er langtum minni eða um 500 kWh þegar yfirborðshita er haldið 2°C yfir útihita í frosti og um 330 kWh þegar hitamismunurinn er aðeins 1°C. Af þessu má sjá að eftir miklu er að slægjast í orkusparnaði með því að halda yfirborðshitannum sem næst útihita þegar frost er.

Á snjólausum frostdögum er nauðsynlegt að halda hæfilegu afli í hægagangi til að viðhalda varmageyminum í jörðinni þannig að snjóbræðsla hefjist jafnskjótt og byrjar að snjóa og einnig til að fyrirbyggja ísingu. Hafa verður þó í huga að gifurleg orka fer til spillis þegar yfirborðshita er haldið óþarflega háum, sérstaklega þegar vindasamt og kalt er í veðri.

6. NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA

Leidd var út jafna sem gefur mestu líkindi fyrir varmapörf í snjókomu í Reykjavík:

$$q_{\text{varmapörf}} = 140 \cdot A_{\text{snjóautt hlutfall}} + 94 \cdot s$$

Jafna sem gildir fyrir nauðsynlega varmagjöf í snjókomu verður:

$$q_{\text{varmagjöf}} = k \cdot (140 \cdot A_{\text{snjóautt hlutfall}} + 94 \cdot s)$$

Reiknuð var mánaðarleg orkupörf og gerður samanburður á árlegri heildarorkupörf miðað við að yfirborði sé haldið mismunandi heitu í frosti þegar ekki snjóar. Fram kemur að gifurleg orka fer til spillis þegar yfirborðshita er haldið óþarflega háum. Þegar snjóar er sjálfsagt að láta snjóbræðsluferfið ganga á fullum afköstum

þannig að snjór bráðni sem fljótast. Orka sem fer í það nýtist að mestu og hún er hverfandi lítil miðað við þá orku sem fer til spillis á snjólausum frostdögum. Í ljós kemur að hægt er að ná tvöföldum til fimmföldum orkusparnaði með hnitmiðaðri stýringu á yfirborðshita miðað við hefðbundnar stýringar á snjóbræðslu. Leitast skal við að láta yfirborðshita snjóbræðslusvæðis fylgja útihita, sem næst yfir honum, þegar frost er og ekki snjóar.

7. HEIMILDIR

- [1] William P. Chapman: *Design Conditions for Snow Melting. Heating and Ventilating*, November 1952.
- [2] William P. Chapman and Samuel Katunich: *Heating, Piping & Air Conditioning*, February 1956.
- [3] *ASHRAE Handbook 1995*: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [4] Oddur B. Björnsson: *Hitalagnir í götum og stéttum – Varmagjöf og áhrif einangrunar á orkutap*. Fjarhitun hf., 1993.
- [5] Ragnar Ragnarsson: *Snjóbræðsla í Kvosinni – ýmsar skýrslur frá árunum 1990–1997*. Snjóbræðsla í nýjum miðbæ Hafnarfjarðar – skýrslur frá 1993–2000. Fjarhitun hf. 1990–2000.
- [6] Ragnar Ragnarsson: *Snjóbræðslutækni*. Fjarhitun hf., 1998.

Blað þetta er tekið saman af Ragnari Ragnarssyni, verkfræðingi.

Í öðru blaði um snjóbræðslu, Rb (50)X.002, er tekið fyrir pípulögn og frágangur, gerður greinarmunur á vatns- og frostlagnarkerfum og sagt frá stjórnbúnaði og vatnsnotkun.

Ritvinnsla og umbrot

Sigrún Pétursdóttir

Prentun:

Gutenberg ehf.

EFTIRPRENTUN ÓHEIMIL.