

Rannsóknarverkefni, áfangaskýrsla

Verkefni fjármagnað af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Dags: 13.07. 2011
Unnið fyrir: Þjónustudeild Vegagerðarinnar, Einar Pálsson
Höfundur: Skúli Þórðarson

Vegsýn ehf
Reykjavíkurvegur 60
IS-220 Hafnarfjörður
Sími: 562 0600,
Gsm: 846 7253
www.vegsyn.is

Mælingar á styrk NaCl á snjómokstursleiðum

Áfangaskýrsla 2010

1	Inngangur	2
1.1	Bakgrunnur	2
1.2	Markmið	2
1.3	Núverandi verklag	2
2	Notkun og virkni salts	2
2.1	Grunneiginleikar saltlausnar	2
2.2	Notkun vegsalts við misumunandi aðstæður	4
2.3	Upplýsingaþörf vegna ákvarðanatöku	6
3	Ýmsar heimildir	7
4	Mæliaðferðir	7
4.1	Færanlegir seltumælar	7
4.2	Skynjarar í vegyfirborði	8
4.3	Áætlun um mælingar	8
5	Dæmi um stoðgögn	8

1 Inngangur

1.1 Bakgrunnur

Verkefnið gengur út á það að bæta ákvörðunarferli í hálkuvörnum. Þetta verður gert með því að prófa og innleiða aðferðir við mælingar, úrvinnslu á helstu áhrifaþáttum sem koma við sögu í hálkuvörnum vega, en þeir eru saltstyrkur og vætustig á vegi, veghiti og veðurspár. Þáttur í þessu er að mæla styrk NaCl á yfirborði vegar og nýta þær upplýsingar ásamt veðurútliti til að ákvarða hálkuvarnir og styrk hálkuvarnarefna.

1.2 Markmið

Markmiðin eru að:

- ◁ Auka þekkingu starfsmanna á hálkuvörnum
- ◁ Bæta ákvörðunarferli í framkvæmd hálkuvarna
- ◁ Bæta nýtingu á salti

Mikilvæg skref í því að ná þessum markmiðum eru að:

1. Útbúa fræðsluefni fyrir starfsmenn um samhengi saltstyrks, vætustigs á vegi, veghita og veðurspár og miðla því á heppilegan máta, t.d. með námskeiðshaldi
2. Prófa og innleiða aðferðir við mat á ástandi vegar s.s. seltumælingar og mat á vætustigi
3. Útbúa leiðbeiningablöð um virkni mismunandi hálkuvarna aðgerða við ólíkar aðstæður, sem gætu síðar orðið hluti af samræmdu ákvarðanakerfi þar sem skilgreindir eru leiðbeinandi verkferlar um val á þjónustuaðgerðum

Í þessum áfanga verkefnisins hefur verið lögð áhersla á að undirbúning og prófanir og er gerð grein fyrir þessum atriðum í skýrslunni.

1.3 Núverandi verklag

Tekið er mið af vetrarþjónustu á SV-svæði Vegagerðarinnar, en þar eru GT verktakar með samning um vetrarþjónustu. Eftirlit og stjórnun eru í höndum svæðisstöðvar Vegagerðarinnar við Hringhellu í Hafnarfirði. Viðtöl, bæði við starfsmenn verktakans og Vegagerðarinnar staðfesta að fyrir kemur að ekki ríkir gagnkvæmur skilningur á því hvaða aðgerðir eru ákjósanlegar á tilteknum tímamarki. Þetta á bæði við um það hvort gripið er til aðgerða og þá hvaða aðgerða, og einnig hvort þörf er á eftirlitsakstri. Það er því þörf á því að þekking og skoðanir sem báðir aðilar búa yfir verði til hliðsjónar við vinnslu verkefnisins.

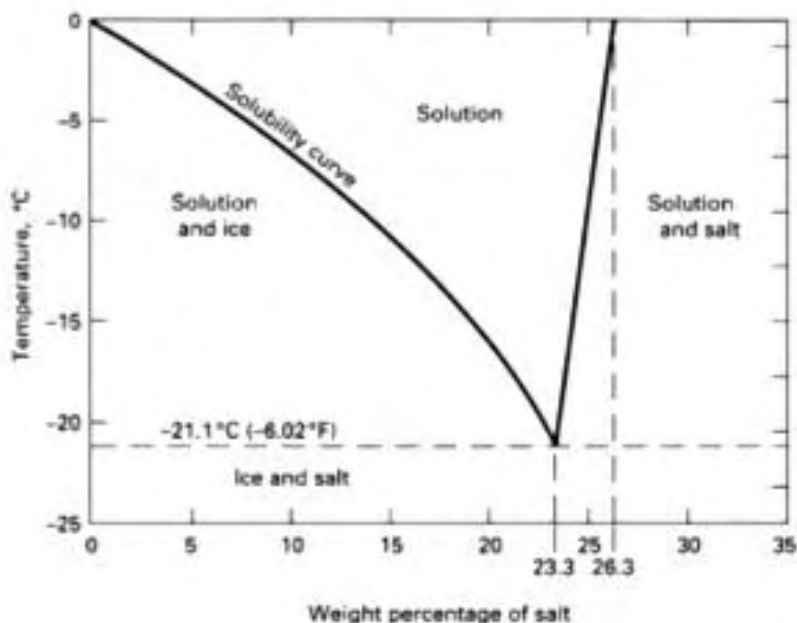
2 Notkun og virkni salts

2.1 Grunneiginleikar saltlausnar

Hér er fjallað um eiginleika matarsalts, NaCl, sem notað er við hálkuvarnir. Áhrif salts eru að lækka frostmark vætu sem liggur á vegi. Saltið blandast vætunni og myndar saltlausn, en frostmark lausnarinnar fer eftir styrk hennar þ.e. hlutfalli salts og vatns í lausninni. Þessi

eiginleiki gerir það að verkum að salt hentar til þess að hindra að ísing myndist á vegi og hindra að snjór festist við vegyfirborð.

Fræðilega er sambandi salts, vatns og frostmarkslýst með svokölluðu fasalínuriti (Mynd 1), sem sýnir að því meiri styrk saltlausn hefur, því lægra er frostmark hennar. Þetta gildir allt niður í u.þ.b. 23% saltstyrk, en þá er frostmark lausnarinnar orðið $XX^{\circ}\text{C}$



Mynd 1 Fasarit saltlausnar, NaCl í vatni. Ferillinn táknar frostmark lausnar (á lóðrétta ás) sem fall af saltstyrk (lárétti ás).

Mikilvægt er að gera greinarmun á hugtökunum saltstyrkur og saltmagn:

Saltstyrkur

Saltstyrkur gefinn upp í prósentum tilgreinir massahlutfall salts í saltlausn, þ.e. hve stórt hlutfall massi salts er af heildarmassa lausnarinnar (vatn + salt):

Út frá þessari tölu er hægt að lesa áætlað frostmark beint af fasalínuriti salts. Optískir saltlausnarmælar (líkt og sá sem SV-svæði Vegagerðarinnar hefur yfir að ráða) gefa upp saltstyrk í prósentum.

Saltmagn

Saltmagn vísar til þess hversu mikið af salti í grömmum er til staðar og er þá venjulega miðað við grömm á fermetra á yfirborði vegar.

Saltmagnið eitt og sér gefur ekki vísbendingar um frostmark vegyfirborðs, heldur þarf mat á vatnsmagni að vera til staðar að auki svo að unnt sé að áætla saltstyrk og þar með frostmark.

Til þess að skoða nánar samhengi þessara stærða má setja upp eftirfarandi dæmi:

30 g af salti eru til staðar á hverjum fermetra (t.d. eftir dreifingu á veg), þar sem yfirborð er mjög blautt eða með 1 mm vatnsfilmu. Þetta jafngildir 1 lítra af vatni á fermetra eða 1000 g. Saltstyrkur í kerfinu reiknast því:

Frostmark þessara lausnar skv. fasalínuritinu ætti að vera í kringum $-1,6^{\circ}\text{C}$.

2.2 Notkun vegsalts við misumunandi aðstæður

Fjallað er um notkun salts í Handbók um vetrarþjónustu (Vegagerðin, janúar 2010). Hér er ekki tilgangurinn að endurtaka það sem þar kemur fram heldur verður fjallað sérstaklega um þau atriði sem mikilvægust eru varðandi notkun mælinga við ákvarðanatöku.

Aðferðir

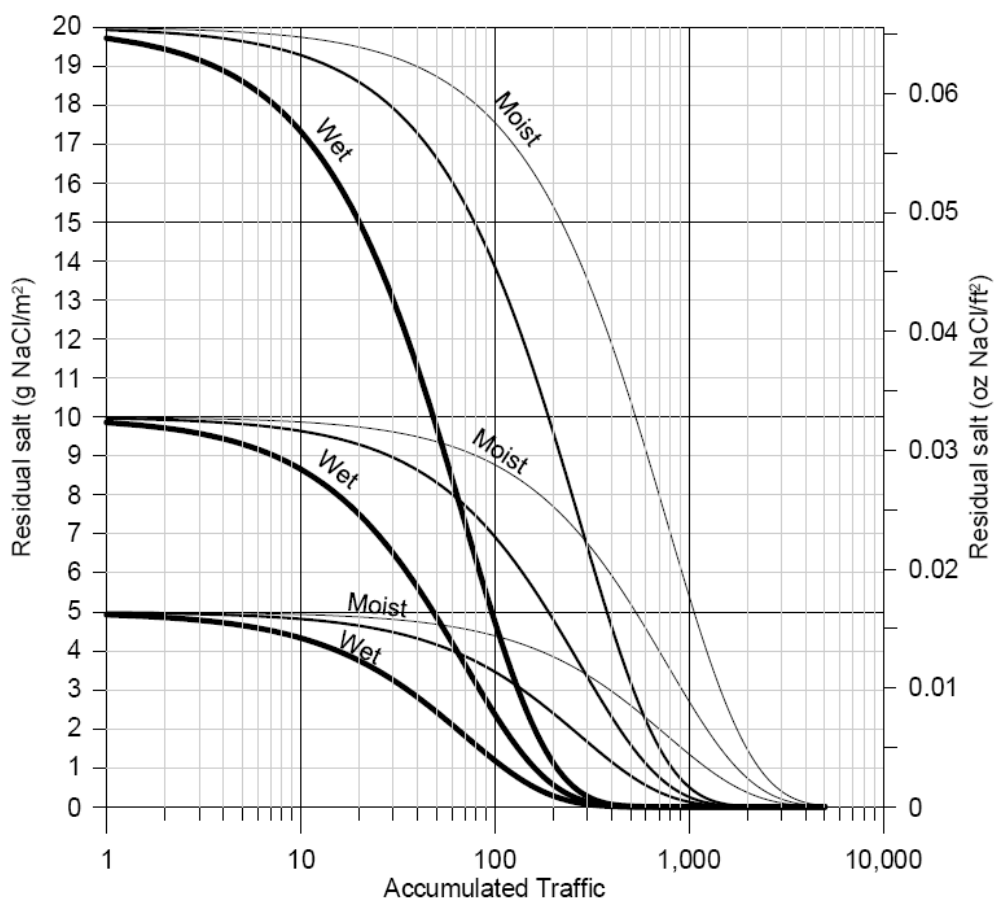
Til hálkuvarna eru einkum tvær aðferðir notaðar hjá Vegagerðinni við dreifingu salts; annars vegar forbleytt salt, og hins vegar þækill. Í undantekningartilfellum, einkum í snjókomu kemur til greina að nota þurr salt. Val á aðferð fer eftir aðstæðum, en í megindráttum má segja að þækill hentar vel sem fyrirbyggjandi aðgerð þegar von er á ísingu eða hrími, eða til þess að eyða þunnri ísingu. Forbleytt salt hentar aðeins í snjó og við snjókomu.

Ending salts á vegyfirborði

Eftir að vegur hefur verið saltaður hverfur saltið burt með tímanum vegna áhrifa umferðar og veðurs.

- ◁ Fok (Blow-off) Heil saltkorn (eða smærri útfellingar eftir að vegur þornar) fjúka af vegi vegna gusts frá farartækjum og að einhverju leyti kemur vindur einnig við sögu.
- ◁ Skvettur og úði (Spray-off) Uppleyst salt hverfur burt með vætu sem skvettist af vegi vegna umferðar.
- ◁ Afrennsli (Run-off) Uppleyst salt rennur út fyrir veg með yfirborðsvatni sem rennur undan halla.

Þáttur umferðarinnar er afgerandi í endingu salts á vegyfirborði, en vætustig vegar skiptir þar einnig miklu máli. Saltið hverfur mun fyrr af vegi fyrir tilstilli umferðar þegar vegur er blautur en þegar hann er rakur. Norrænar rannsóknir gefa til kynna að mörkin á milli raks og blauts vegar liggja í kringum 100 g á fermetra, eða 0,1 mm vatnsfilmu. Eftirfarandi mynd sýnir á einfaldaðan hátt hvernig þessu sambandi getur verið háttað:



Mynd 2 Myndin sýnir samband umferðar og vætustigs vegar við endingu salts á vegi. Blautur vegur „Wet“ miðar við 0,1 mm vatnsfilmu eða meir, rakur vegur „Moist“ er miðaður við 0,02 mm og ferillinn þar á milli er áætlaður fyrir 0,04 mm vatnsfilmu (Blomquist, Eram, Unver og Gustafsson).

Myndin sýnir að sé upprunalegt saltmagn á vegi 20 g/m^2 þá er það fallið niður í 10 g/m^2 þegar vegur er blautur og 50 bílar hafa farið hjá. Hins vegar þolir rakur vegur 500 bíla áður en saltmagnið hefur fallið jafnmikið. Sömu höfundar áætla að áhrif vörubíls með tengivagn jafngildi 8 fólksbílum og áhrif rútu og vörubíls jafngildi 6 fólksbílum).

Hér ber að athuga að ekki er alsæmt að salt hverfi af vegi, svo fremi sem vatn hverfur samtímis í sama hlutfalli, því þá ætti styrkur saltlausnarinnar og þar með frostmark vegarins að haldast á svipuðu róli. Þetta er í lagi svo fremi sem ekki kemur viðbótarvæta á veginn sem þynnir út saltstyrkinn, t.d. sem úrkoma eða skafrenningur. Sé gengið út frá sama saltstyrk, er blautur vegur heppilegri til þess að taka við viðbótarvætu en þurr vegur, því þá er heildarsaltmagnið meira og þynningin verður því minni, og þar með líkur á því að saltstyrkur haldist hærri.

Saltmagn og eftir atvikum saltstyrkur sem eftir er á vegi frá síðustu hálkvarnaraðgerð getur því fallið nokkuð hratt. Saltið sem liggur á vegi hverju sinni er kallað „restsalt“ (e. residual salt). Vitneskja um þróun restsaltsins er mikilvæg við ákvarðanatöku um hálkvarnaraðgerðir.

Leiðbeinandi magn til dreifingar

Í Handbók um vetrarþjónustu er gefið leiðbeinandi magn af salti sem hentar að dreifa með hliðsjón af ástandi vegyfirborðs og veðri:

Saltmagn til hálkuvarna

Ástand vegar	Pækili (g/m ²)	Bleytt salt (g/m ²)	Þurrt salt (g/m ²)
Þurr	10-15	2-5	Ekki ráðlagt
Blautur	15-20	5-10	10-15
Hrím / þunnur ís	20-40	10-15	Ekki ráðlagt
Snjór	Ekki ráðlagt	15-25	15-25
Snjór og snjókoma	Ekki ráðlagt	25-30	25-30

Í töflunni hér að ofan ber að athuga að magntölur fyrir pækil og salt eru ekki sambærilegar að því leytnu til að þar er annars vegar gefið upp magn af saltpækli (vatn + salt) og hins vegar magn af bleyttu salti (salt + óverulegt magn af vatni). Til þess að fá hugmynd um raunmagn salts í saltpækli (23% styrkur) er hægt að margfalda grammatölu pækils með 0,23. Þannig gefa 20 grömm af pækli aðeins 4,6 grömm af hreinu salti á veginn.

2.3 Upplýsingaþörf vegna ákvarðanatöku

Nú hefur verið dregið lauslega á þeim grunnsamböndum sem gilda um virkni salts, og hvaða áhrifaþættir koma við sögu. Strangt tiltekið, með hliðsjón af þeim samböndum sem fjallað er um í kafla 2.1, er krafan í raun sú að frostmark vegyfirborðs sé lægra en hitastig vegyfirborðs til þess að komið verði í veg fyrir að hálka myndist. Þetta þýðir að magn salts á vegi þarf að aðlaga að vætumagninu þannig að nægur saltstyrkur sé til staðar. Það er því ljóst að því meira magn af vætu er til staðar á vegi (meðtalinn snjór sem bráðnar og myndar vætu) því meira þarf saltmagnið að vera til þess að viðhalda æskilegum saltstyrk. Af þessum sökum er mikilvægt að fjarlægja eins mikið af snjó af veginum áður er saltað er, sé hann til staðar.

Auk vitneskju um umferðarmagn, veðurspá, veghita og áætlaða endingu salts á vegi, þurfa að vera til staðar upplýsingar um restsalt á vegyfirborði (saltstyrkur í %, eða saltmagn í g/m²) sem tryggja að unnt sé að ákvarða saltstyrk og þar með frostmark þegar tekin er ákvörðun um tímasetningu og tegund aðgerða. Hvort upplýsingar um styrk eða magn salts eru nauðsynlegar er háð þeim veðurskilyrðum sem framundan eru.

Hvaða upplýsinga er þörf hverju sinni, Lysbakken (2008) hefur lýst þörfinni fyrir upplýsingar um vegyfirborð til þess að geta ákvarðað frostmark vegarins við mismunandi veðuraðstæður. Hann bendir á þrenns konar algengar veðuraðstæður sem krefjast ólíkra upplýsinga um aðstæður á vegyfirborði, svo að unnt sé að meta ástand þess og ákvarða hugsanlegar hálkuvarnaraðgerðir:

Tafla 1 Nauðsynleg upplýsingapörf til að áætla frostmark vegfirborðs með tilliti til væntanlegs veðurs

Væntanlegt veður	Nauðsynlegar upplýsingar
Vatn/raki á þurran, kaldan veg	Saltmagn
Aukið vatnsmagn á blautan veg	Saltmagn og vatnsmagn
Fallandi hiti á blautum vegi	Saltstyrkur

Til viðbótar við þær upplýsingar sem taldar eru upp í töflunni þarf að vera til staðar mat á væntanlegum veghita svo að velja megi hæfilegt saltmagn eftir því.

3 Ýmsar heimildir

Umfang og dýpt fræðilegrar umfjöllunar í þessu verkefni er eingöngu ætlað að skýra grunnatriði um virkni vegsalts í vetrarþjónustu og mikilvægustu áhrifaþætti sem koma við sögu. Á hinum Norðurlöndunum hafa verið gerðar rannsóknir á þessu sviði um árabíl og verður í þessu verkefni stuðst við útgefnar heimildir frá þessum rannsóknum. Að auki verður stuðst við innlend gögn Vegagerðarinnar og reynslu starfsmanna hennar.

Þegar þetta er ritað er verið að kanna möguleika á því að Vegagerðin tengist nýju verkefni undir NordFoU samstarfinu. Verkefnið kallast *Modelling residual salt*, MORs, en tilgangur þess er að þróa líkan sem metur þróun restsalts á vegi eftir hálkuvárnaraðgerðir.

4 Mæliaðferðir

4.1 Færanlegir seltumælir

Af handhægum, færanlegum tækjum til saltmælinga á vegum er einkum um tvær gerðir að ræða. Annars vegar er það einfaldur og optískur seltumælir (e. refractometer) sem gefur upp styrk saltblöndu á vegi í prósentum. Hins vegar er um að ræða sérhannað tæki frá Boschung í Þýskalandi sem kallast SOBO 20. Helsti kostur þess síðarnefnda er að með honum má mæla magn restsalts á þurrum vegi (g/m²) á meðan sá fyrr nefndi getur aðeins mælt á yfirborði sem er nægilega rakt til þess að sjúga megi dropa upp í pípettu. Hann gefur þar af leiðandi ekki upplýsingar um heildarsaltmagnið líkt og SOBO.



Mynd 3 Til vinstri: optískur seltumælir. Til hægri: SOBO 20.

Vegagerðin hefur yfir að ráða optískum mæli til þess að mæla saltstyrk vatnslausnar á vegi. Í þessu verkefni verða kannað möguleikar á því að fá SOBO mæli til prófunar.

4.2 Skynjarar í vegyfirborði

Erlendis hafa verið smíðaðir fastir skynjarar sem settir eru í vegyfirborð til þess að mæla saltstyrk og jafnvel áætla þykkt vatnsfilmu. Út frá slíkum mælingum ætti því að vera unnt að áætla heildarsaltmagnið í grömmum á fermetra.

Vegagerðin hefur í samstarfi við Samrás unnið að þróun skynjara í vegyfirborð sem nota má til þess að ákvarða hvort vegyfirborð er þurrt, blautt eða með ísfilmu. Búnaðurinn hefur verið kallaður *hálkumælir*. Vonir standa til að einnig megi nota búnaðinn til þess að meta saltstyrk lausnar þegar vegur er blautur. Þessi skynjari verður skoðaður nánar í verkefninu með það fyrir augum að kanna möguleika hans til reglulegrar notkunar til þess að styrkja ákvarðanatöku um hálkuvarenaðgerðir.

4.3 Áætlun um mælingar

Í verkefninu verður safnað gögnum frá Reykjanesbraut milli Hafnarfjarðar og Keflavíkur. Þjónustudeild áætla að á Strandarheiði verði settur niður nýr hálkumælir, en fyrir er þar veðurstöð og umferðargreinir. Að auki verður stuðst við ferilskráningu vetrarþjónustu.

Áætlað er að mæla saltstyrk reglulega og skoða þær niðurstöður í samhengi við önnur gögn sem hér hafa verið talin upp. Tilgangur þessara mælinga er að kortleggja virkni hálkuvarenaðgerða og að kanna forsendur fyrir því að nýta færanlega mæla reglulega sem stuðning við ákvarðanatökuna.

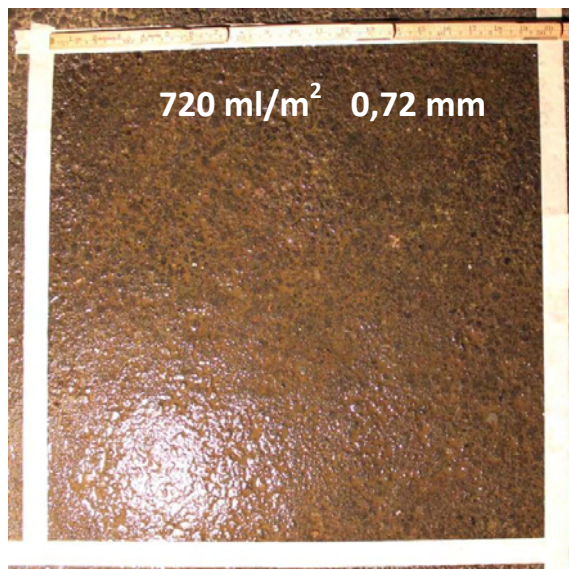
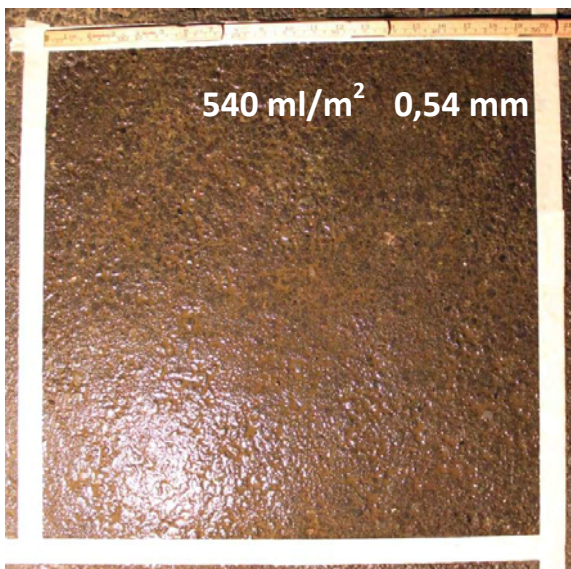
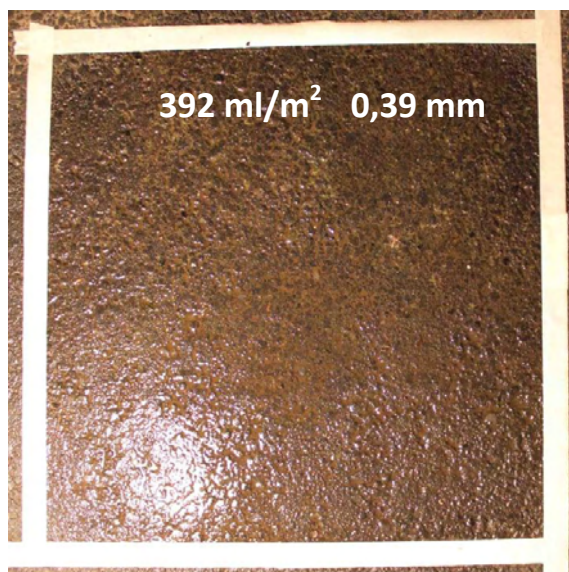
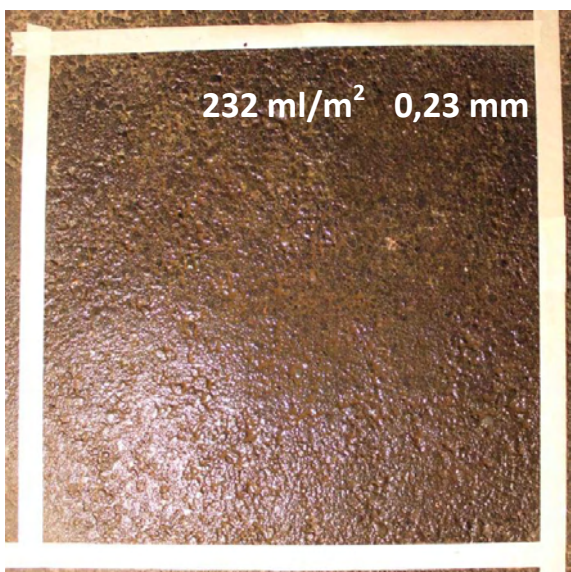
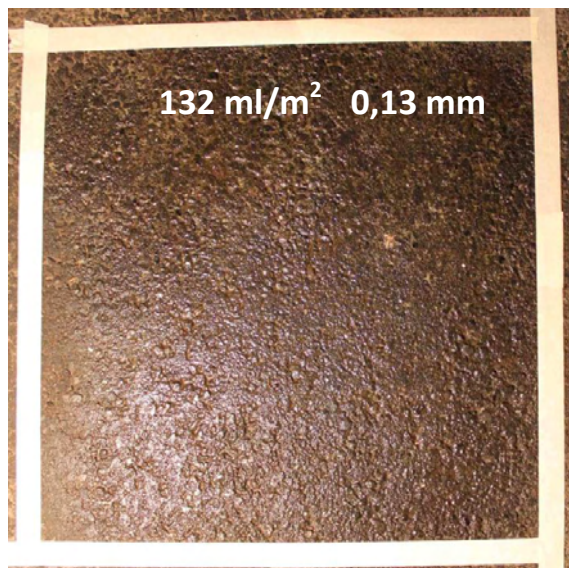
5 Dæmi um stoðgögn

Mikilvægur þáttur í þessu verkefni er að útbúa stoðgögn til fræðslu starfsmanna vetrarþjónustu, til þessa að samræma kunnáttu og til þess að þjóna sem grunnur undir samræmda verkferla í ákvörðunarferli fyrir hálkuvarnir.

Hér á eftir koma tvö dæmi um slík stoðgögn. Annars vegar er um að ræða ljósmyndaröð sem sýnir útlit vegyfirborðs við mismunandi vætustig og hins vegar er um að ræða blað sem sýnir samband .

Blaðið sýnir dæmi um útlit malbiks við mismunandi vætumagn á yfirborði

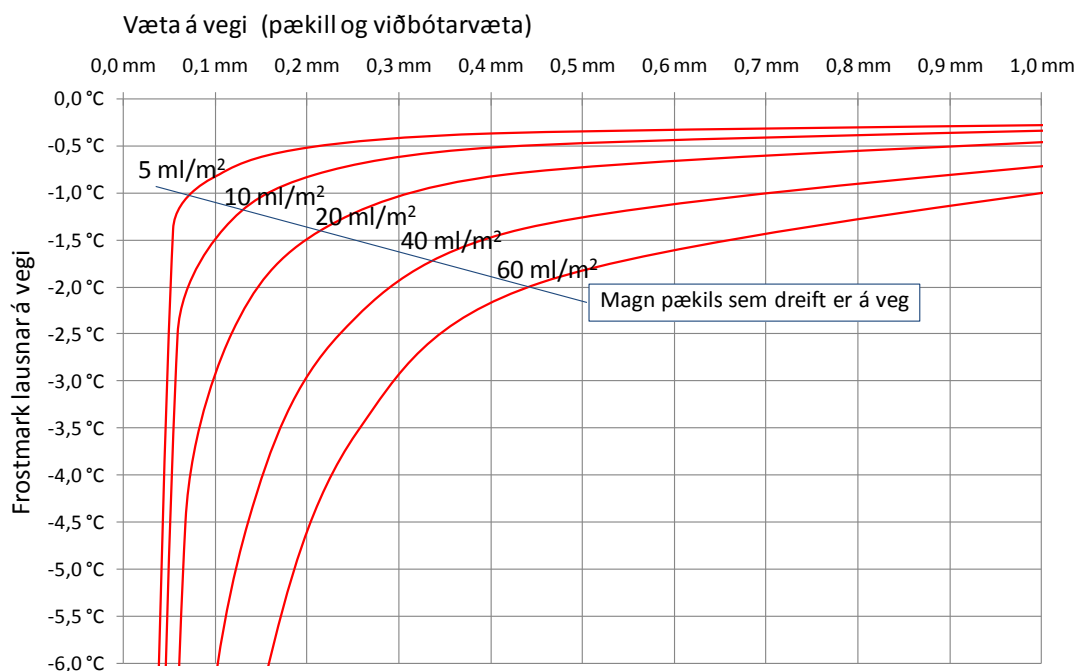
VERÐUR ENDURGERT FYRIR RÉTTAR YFIRBORÐSGERÐIR



Blaðið lýsir sambandi saltþekils sem dreift er á veg, vætumagns á vegi og frostmarks.

Forsendur útreikninga

- < Vegur er án alls restsalts áður en þæklað er
- < Miðað er við fullmettaða lausn NaCl, 23% af þyngd
- < Vegur gæti verið þurr eða blautur fyrir þæklu, gögnin sýna frostmark að teknu tilliti til heildarvætu á vegyfirborði, óháð því hvernig væta er tilkomin



Línuritið sýnir breytingar á frostmarki vætu á vegyfirborði eftir að þæklað er, að teknu tilliti til heildarvætu á vegi. Á láréttum ás er heildarrakamagn eftir að þækli er dreift. Hér getur verið um að ræða raka sem fyrir var á vegi, úrkomu sem fellur eftir á, eða úrkomu sem spáð er. Ferlarnir sýna hvernig frostmark hækkar (færist nær núlli) eftir því sem saltlausnin þynnist út þegar vatnsmagn á vegi eykst.

Frostmark á vegi nálgast núll gráður hratt eftir því sem rakamagn á veginum eykst. Þetta er afleiðingin af því að þrátt fyrir að þekillinn sé mjög sterk saltupplausn þá er sjálft saltmagnið pr. fermetra ekki mikið. Sjá töflu hér til hliðar. Taflan sýnir heildarsaltmagn á vegi eftir að mismiklu magni af þækli er dreift.

Þekilmagn ^{*)}		Saltmagn
ml/m ²	g/m ²	g/m ²
5	5,9	1,4
10	11,8	2,7
20	23,6	5,5
40	47,2	11,0
60	70,7	16,5

*) m.v. 23% NaCl lausn

Til umhugsunar

- < Virkni þekils er mjög viðkvæm fyrir auknu vatnsmagni á vegi, hann þynnist hratt út
- < Aðferðin hentar helst á því sem næst þurran eða rakan veg þegar ekki er von á frekari vætu eða snjó
- < Hugsanlegt að nota á lítið blautan veg (<1 mm vatn) í vægu frosti (innan við 1,5° frost) og þá í stórum skömmtum