



Statens vegvesen

Teknologidagene 2019, Trondheim

Nytt dimensjoneringsystem for veger

# Frost- og telemodell i ERAPave

Kjell Arne Skoglund

Vegdirektoratet; seksjon drift, vedlikehold og vegteknologi

# Deltema

- Varmestrøm i jord
- Litt om dagens frostmodell
- Generelt om frostmodeller
- SSR-modellen
- Telehiv
- Status og vegen videre

$$\Delta z_0 = (T_f - T_P) \cdot \frac{1 - SP \cdot \frac{L_w}{k_{fz}} \cdot \Delta t}{L_{fz} \cdot R_{fz}}$$

$$k_f \cdot \frac{dT_f}{dz} = \frac{\rho_d}{100} \cdot \frac{P_w}{\rho_w} \cdot \frac{dT_f}{dz}$$

$$S \cdot k_{tz} \cdot \frac{dT_f}{dz} = \frac{L_w \cdot SP \cdot |T_P|}{z^*} \cdot \frac{dT_f}{dz}$$

$$q = -k \cdot \frac{dT}{dz}$$

$$L = L_w \cdot \frac{100}{100} = L$$

$$k_f \cdot \frac{dT_f}{dz} = k_t \cdot \frac{dT}{dz}$$

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \cdot \frac{d^2 T}{dz^2}$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{dT}{dz} \cdot \frac{dz}{dz}$$

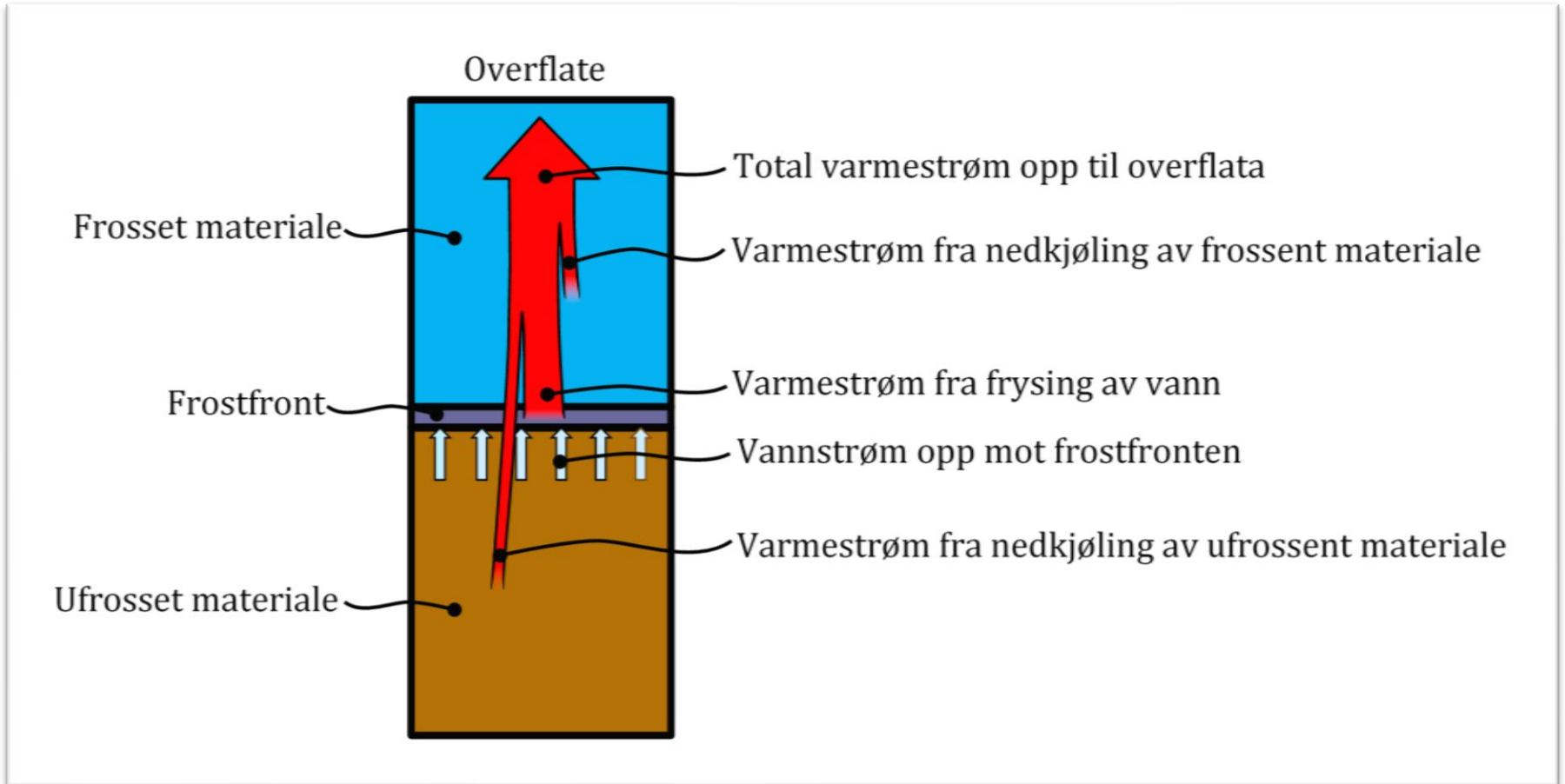
$$\frac{dT}{dt} = \frac{dT}{dz} \cdot \frac{dz}{dt}$$

# Varmestrøm i jord



Statens vegvesen

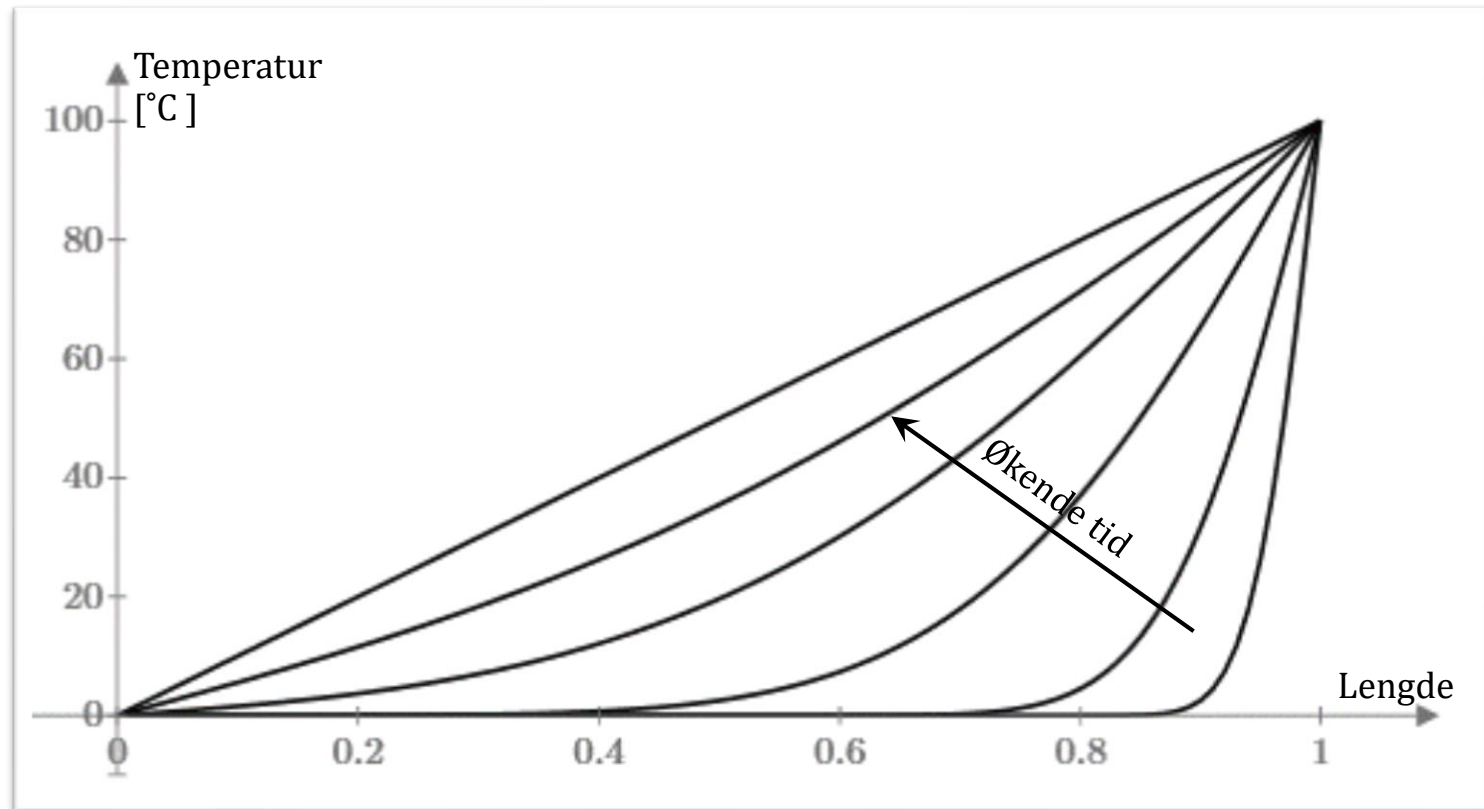
## Fryseprosessen i et jordprofil



# Varmestrøm i jord, forts.



Varmestrømmene er *tidsavhengige* (transiente), jf. en stav som plutselig får økt temperaturen i ene enden fra 0 til 100 °C.

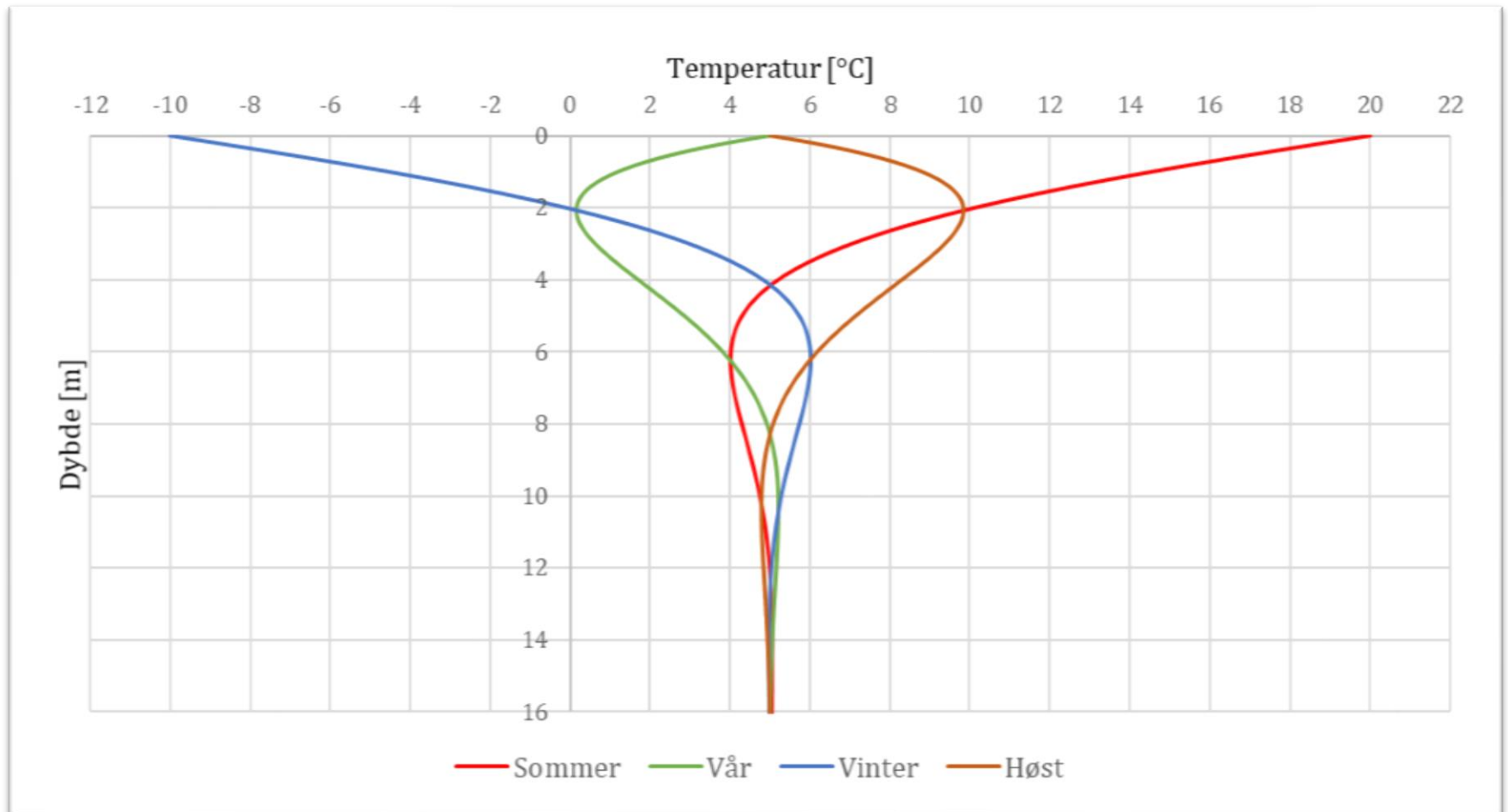


Temperaturendringene skjer hurtigst der temperaturforskjellene er størst.

# Varmestrøm i jord, forts.



Temperaturfordeling i et jordprofil gjennom året. NB! Kun nedkjølingsbidrag vist, ingen bidrag fra utfrysing av vann. Konstant varmeldningskoeffisient og varmekapasitet i hele dybden.



# Litt om dagens frostmodell



## Frostdybde:

Håndbok N200 tar utgangspunkt i Stefans formel for frostdybde:

$$z = \sqrt{\frac{2Fk_f}{q + L}}$$

F – frostmengde

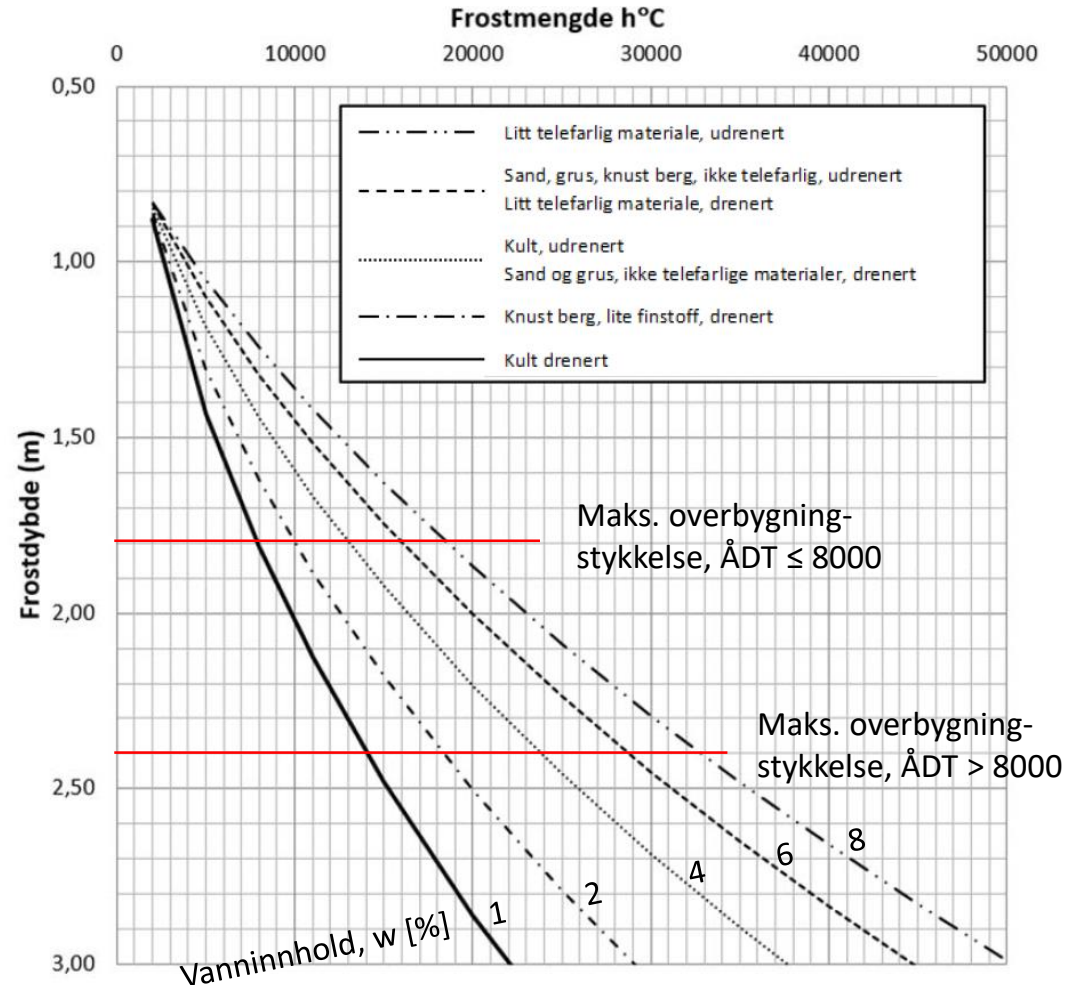
$k_f$  – varmeledningsevne

q – nedkjølingsvarme fra ufrossent materiale

L – frysevarme (latent varme) fra det vannet som er i materialet før frosten setter inn (ev. oppsug av vann til frysefronten regnes ikke med)

## Telehiv:

Beregnes ikke



# Litt om dagens frostmodell, forts.



## Hva er problemet?

- Vi vet ikke i dag hva telehivet blir i kalde strøk der overbygninga fryser gjennom (dvs. dypere frost enn 1,8-2,4 m)
  - Kan ikke regne telehiv vi får fra frostsikringsmaterialene – disse kan være T2-materialer
  - Hvis vi vil utnytte mer finkornholdige materialer i vegoverbygninga, må vi også kjenne telehivegenskapene til disse
  - Når vi ikke regner med telehiv, regner vi heller ikke med varmebidraget fra frysinga av det oppsugde vannet opp til frysefronten
  - Verden rundt oss beregner telehiv – Sverige, Finland, Canada – og bruker dette i dimensjoneringsammenheng
  - Men, NB! Telehiv berører kjørekomfort og sikkerhet
    - Økt krav til komfort
    - Økt kjørehastighet – med bibehold av sikkerhet
- Må finne hvor stort telehiv som er akseptabelt for de ulike vegene/fartsgrensene

# Generelt om frostmodeller

En frostmodell for vegteknisk formål er som en vanlig termisk modell (som regner på temperaturer og varmestrømmer), men må i tillegg ta hensyn til de spesielle effektene som skjer ved frysing av vegmaterialer og undergrunn:

- Faseovergang fra vann til is
- Oppsug av vann til frysefronten

Kan regnes på ved hjelp av

- Formler (Stefan, Neumann, Berggren, modifisert Berggren)
- Differansemetoder (helst 1D)
- Elementmetoder (1D, 2D og 3D)



Vi har i stor grad konsentrert oss om SSR-modellen:

- Utviklet av Seppo Saarelainen, Finland, PhD-avhandling fra 1992
- Er i bruk i Finland og i Canada (Svenskene har et liknende konsept, men ikke SSR)
- Formelverket i SSR benyttes stegvis i tid og rom, kan kanskje ses på som en hybrid mellom formel og differansemetode.
  
- Fordeler
  - Relativt enkel varmebalansemodell, inkluderer de største og viktigste varmebidragene
  - Overflatetemperaturen kan varieres gjennom sesongen
  - Gir et rimelig godt grunnlag for å regne på telehiv (ser det ut til pr. nå)
  - Mulig og enkelt å endre egenskaper underveis i beregningene (ikke-lineære effekter) – f.eks. at termisk konduktivitet endrer seg med temperatur og vann-/isinnhold
  - Kan med samme metodikk regne på teleløsning (men ikke inkludert i opprinnelig SSR)
  
- Ulemper
  - Får ikke noe troverdig temperaturprofil nedover i konstruksjonen, men treffer rimelig bra på beliggenheten av frostfronten (0-isotermen).
  - Umiddelbar og for stor respons på frostfronten på temperaturendringer på overflata, kan være et problem på steder der temperaturen varierer mye gjennom frosts sesongen (som i kyst- og fjordstrøk i Norge). Trolig er nettoeffekten OK.

To kilder:

- Frysing av porevann som er til stede før frosten setter inn. Gir en utvidelse på ca. 9 % av vannvolumet som fryser (som er en funksjon av porøsitet og metningsgrad)
  - Dersom vannet beveger seg og skaper islinser, kan telehivet bli større
- Frysing av vann som trekkes opp til frostfronten – danner islinser. Gir en utvidelse likt med vannets volum med tillegg av 9 % utvidelse ved frysing
  - Vannvolumet som trekkes opp pr. tidsenhet beregnes å være proporsjonal med temperaturgradienten over frostfronten og en konstant kalt *segregasjonspotensialet* som beskriver telefarlighet til materialet

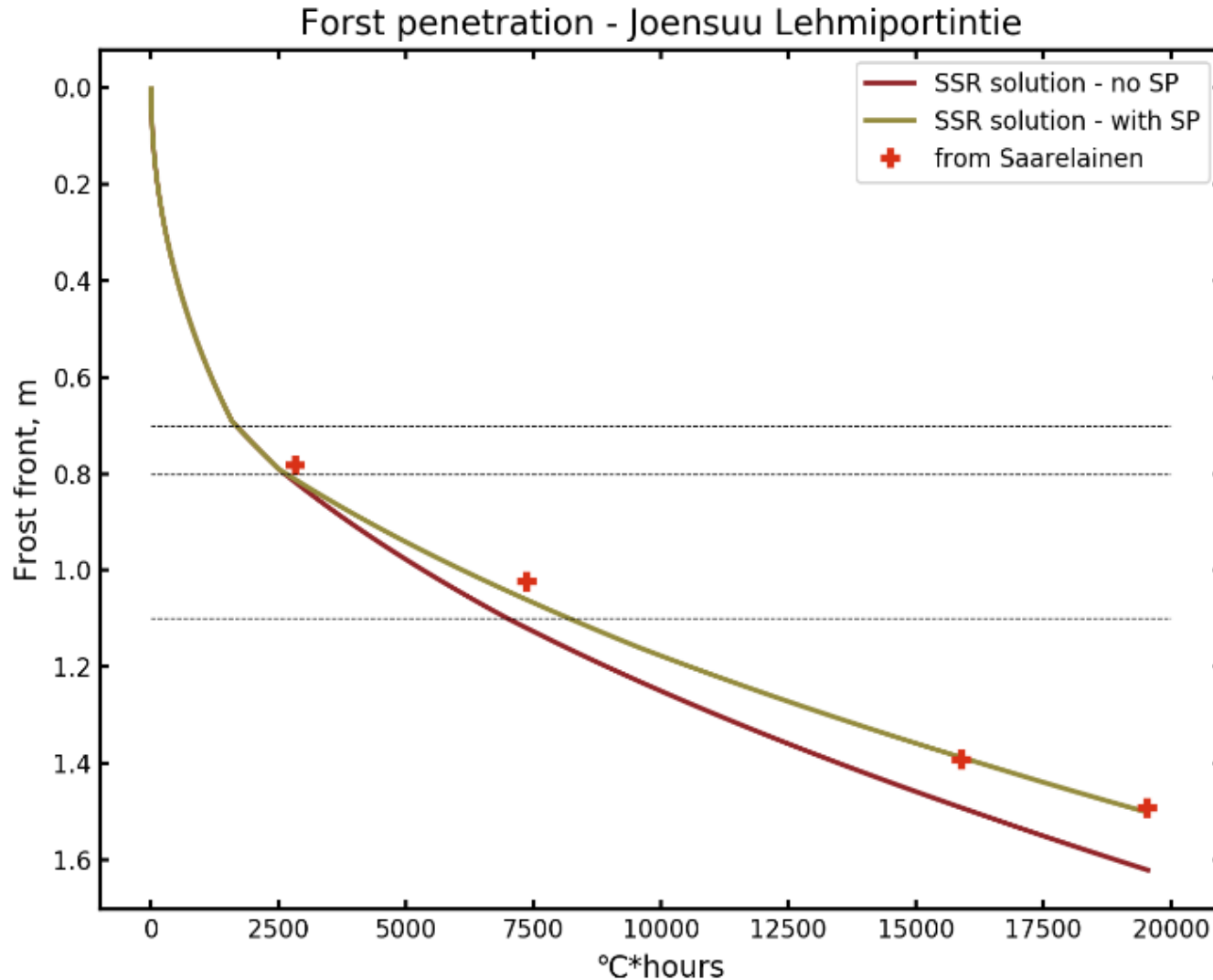
Telefarlighet	Segregasjonspotensial, SP			CRREL, 1981
	mm <sup>2</sup> /(°C·h)	mm <sup>2</sup> /(°C·d)	x10 <sup>-5</sup> mm <sup>2</sup> /(°C·s)	mm/d
Neglisjerbar	< 0,5	< 12	< 14	< 0,5
Liten	0,5 – 1,5	12 – 35	14 - 40	0,5 – 2
Middels	1,5 – 3	35 – 75	40 – 87	2 – 4
Høy	3 – 8	75 – 200	87 – 230	4 - 8
Svært høy	> 8	> 200	> 230	> 8

(Etter CHAUSSÉE 2 brukermanual (fra Canada))

# SSR-modellen, forts.



Eksempel på etterregning av Saarelainen sine resultater (med og uten segregasjonspotensial)



# Status og vegen videre

- Arbeidet utføres av NTNU og Statens vegvesen med post.doc. Karlis Rieksts (NTNU) og undertegnede
- Har fått sett noe på grunnleggende teori
- Er kommet langt i vurderingen av SSR-modellen, men en del gjenstår
- Holder på med programkode for SSR som kan implementeres i ERAPave
- Er utført en del sammenlikninger med COMSOL (elementmetode)
- Svensk metode i PMS Objekt bør gjennomgås (metode etter Åke Hermansson) og sammenliknes med SSR-modellen
- Må besluttes i Norge om vi telehiv skal tillates, og hvor stort dette kan være

Ligger trolig an til at det blir SSR-modellen som blir valgt som frost- og telemodell i ERAPave

## Takk for oppmerksomheten!