



Vanninnhold i granulære friksjonsmaterialer – inngangsdata i frostdimensjonering

Kjell Arne Skoglund

Seksjon vegteknologi, Myndighet og regelverk, Vegdirektoratet

Deltemaer

- Vanninnhold og dagens frostdimensjonering i N200 Vegbygging
- Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet
- Resultater fra forsøkene
- Praktisk bruk som inngangsdata for frostdimensjonering



Vanninnhold og dagens frostdimensjonering i N200 Vegbygging

Frostdybde:

Håndbok N200 Vegbygging tar utgangspunkt i Stefans formel for frostdybde:

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

F – frostmengde → Ikke påvirket av vann

k_f – varmeledningsevne → Påvirket av vann ∉ N200

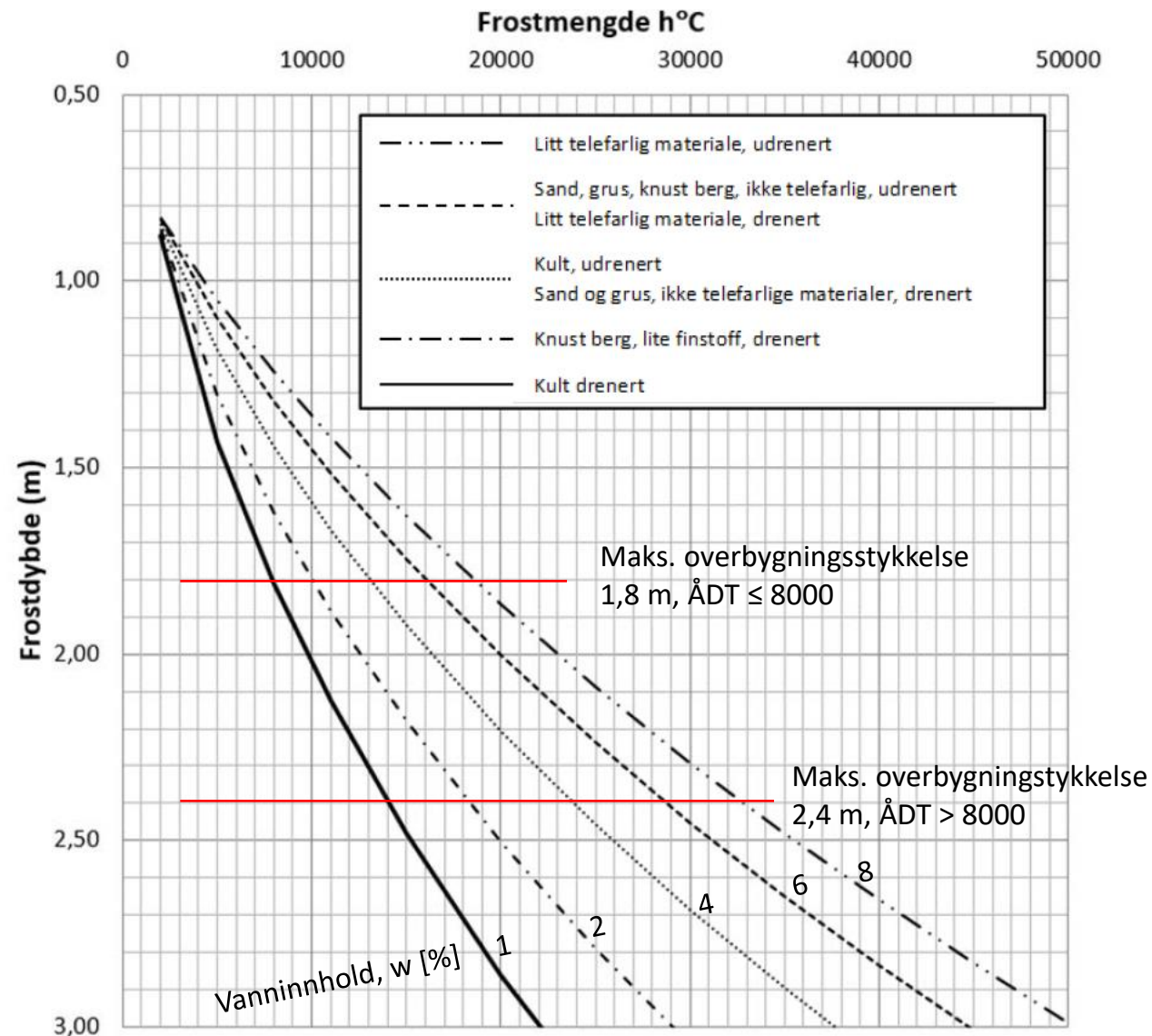
q – nedkjølingsvarme fra ufrosset materiale → Påvirket av vann ∈ N200

L – frysevarme (latent varme) fra det vannet som er i materialet før frosten setter inn
→ Påvirket av vann ∈ N200


Ev. oppsug av vann til frysefronten regnes ikke med

Regner lagvis til frostmengden er brukt opp, se kap. 13 i V220 Geoteknikk i vegbygging.

Praktisk bruk: Diagram i N200 (fig. til høyre).



Vanninnhold og dagens frostdimensjonering i N200 Vegbygging

 Tabell 3.14 — Korreksjon av frostdybde ved frostsikring med knust berg, sand eller grus

Frostsikringslag	Antatt vanninnhold i frostsikringslag	Årsmiddeltemperatur °C					
		-2	0	2	4	6	8
Kult; drenert	1,0 %	-	1,66	1,21	1,00	0,87	0,79
Knust berg; lite finstoff, drenert	2,0 %	1,92	1,40	1,15	1,00	0,90	0,82
Kult; udrenert	4,0 %	1,43	1,23	1,10	1,00	0,92	0,86
Sand, grus, knust berg; ikke telefarlig, drenert							
Sand, grus, knust berg; ikke telefarlig, udrenert	6,0 %	1,29	1,17	1,08	1,00	0,94	0,89
Litt telefarlig materiale, drenert							
Litt telefarlig materiale, udrenert	8,0 %	1,22	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90

- Poenget er at vi ikke vet vanninnholdet – det er noe som er antatt.
- Forskjellen på de ulike dimensjoneringskurvene er basert på forskjeller i vanninnhold
- Vi vet det er en reell forskjell i frostsikringsevne for de ulike materialene som kurvene representerer, men begrunnelsen er dårlig dokumentert

Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet

- Litteratursøk:
 - Finnes mye forskning og litteratur på vanninnhold i finstoffholdige materialer
 - Finnes lite og ingenting på vanninnhold i grovere materialer
- Kan vi komme videre ved hjelp av enkle laboratorieforsøk vi kan gjøre selv?
- Idé: Finne maksimalt (gravimetrisk) vanninnhold – retensjonskapasitet – i smale fraksjoner, for så – om mulig – sette disse sammen til mer realistiske materialer der vi kan få et mer kvalifisert estimat på vanninnholdet
- Laboratorium midt hos Divisjon drift og vedlikehold under prosjektledelse av Arnhild Ulvik hos oss på Seksjon vegteknologi tok jobben!
- Rapport forfattet av Arnhild blir tilgjengelig i Vegvesenets rapportserie om kort tid (innen ei uke eller to – i alle fall før jul)



Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet

- Prøveformer med perforering og med diameter $\varnothing 32$ mm og $\varnothing 54$ mm ble laget på verksted, i tillegg CBR-former for de groveste fraksjonene
- Materialanskaffelse, ca. 200 kg fra to ulike bergarter
 - Vassfjell, Trondheim (4/16 og 0/4, gabbro)
 - Røyneberg, Sola (0/2, 2/5 og 4/16, glimmergneis)
- Innkjøp av «mellomsikt» for å få mange delfraksjoner
- Vasking og sikting - 17 smale delfraksjoner:

< 0,063 mm

0,063-0,090 mm 1,0-1,4 mm

0,090-0,125 mm 1,4-2,0 mm

0,125-0,180 mm 2,0-2,8 mm

0,180-0,250 mm 2,8-4,0 mm

0,250-0,355 mm 4,0-5,6 mm

0,355-0,500 mm 5,6-8,0 mm

0,500-0,710 mm 8,0-11,2 mm

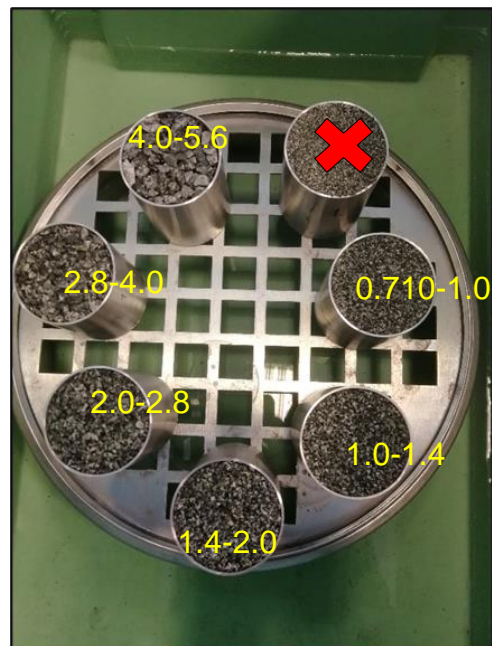
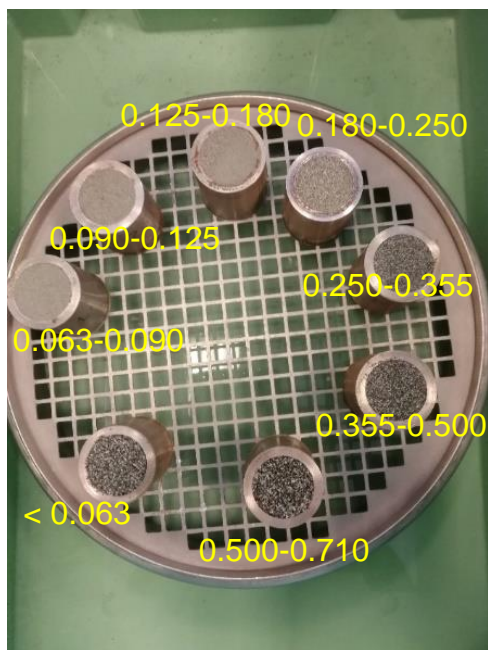
0,710-1,0 mm 11,2-16,0 mm



Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet

Utførelse

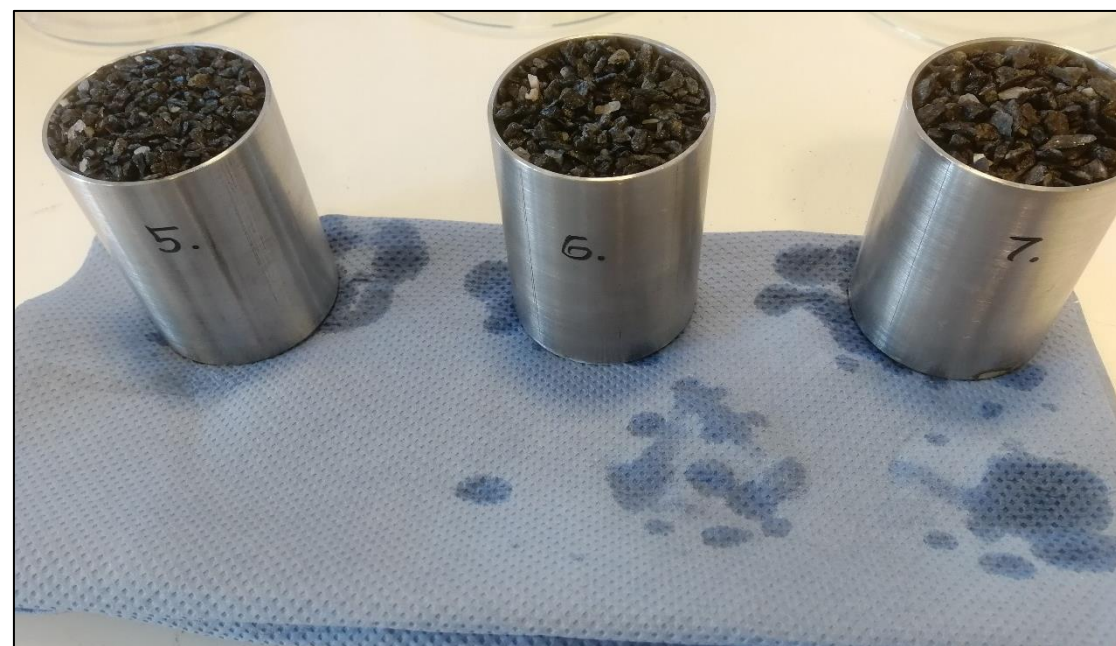
- De minste formene ($\varnothing 32$ mm) ble brukt til kornstørrelser fra 0-0,710 mm
- De mellomste formene ($\varnothing 54$ mm) ble brukt til kornstørrelser mellom 0,710-5,6 mm
- CBR-former ble brukt til kornstørrelser mellom 5,6-16 mm
- To paralleller hver av alle delfraksjoner



Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet

Utførelse

- Former ble fylt med filter i bunn, deretter med tørt materiale, og tilslutt vann
- Det ble fylt på vann til man oppnådde vannmetning (vann piplet ut i bunn)



Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet

- Formene ble satt i et «fuktig miljø», men med mulighet for drenering
- Formene ble veid med gitte tidsintervall gjennom ei uke
- Etter siste avlesning ble materialet tørket, og vanninnholdet beregnet

Avlesnings - og veieskjema FoU vanninnhold

Materiale:	Røyneberg	Delfraksjon	4.0-5.6 mm
------------	-----------	-------------	------------

Form nr:	12	Glasskål nr:	37
----------	----	--------------	----

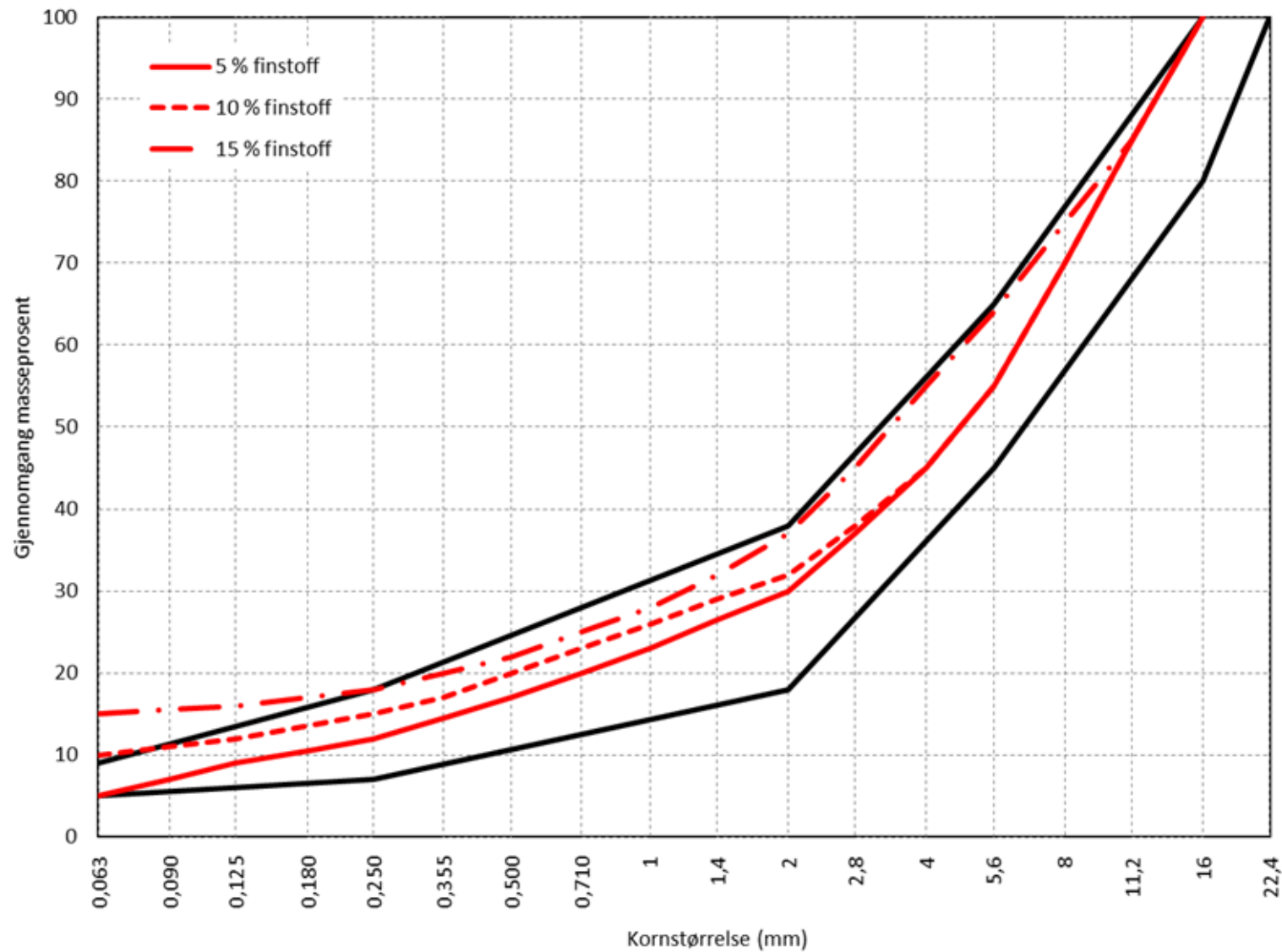
Tid	Vekt vått materiale, form og glasskål (g)	Vekt av form (g)	Vekt av glasskål (g)	Vekt materiale (g)
0 min	504,5	152,0	113,8	237,7
1 t	499,7			232,9
2 t	499,0			232,2
4 t	498,4			231,6
24 t	498,1			231,3
2 døgn	497,3			230,5
3 døgn	496,6			229,8
4 døgn	496,0			229,2
1 uke	494,8			228,0

Avslutning	Tørk materialet ved 110 grader til konstant vekt og vei det	224,6
------------	---	-------

Vanninnhold ved slutt (%)	1,5
Vanninnhold ved start (%)	5,5

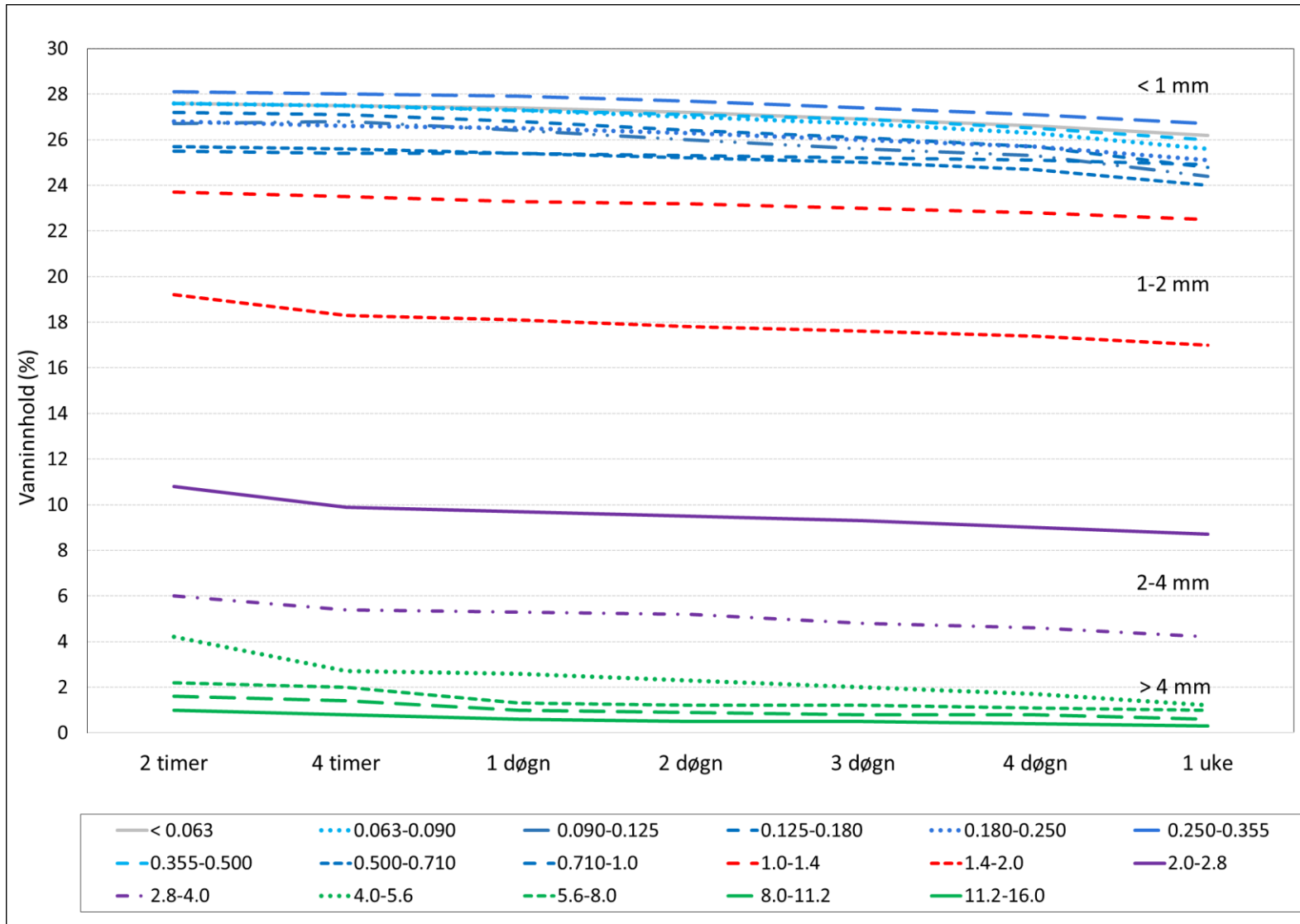


Labforsøk for å kartlegge vanninnholdet



Sammensatte materialer – kornkurver for tre 0/16-materialer med tre ulike finstoffinnhold < 0,063 mm

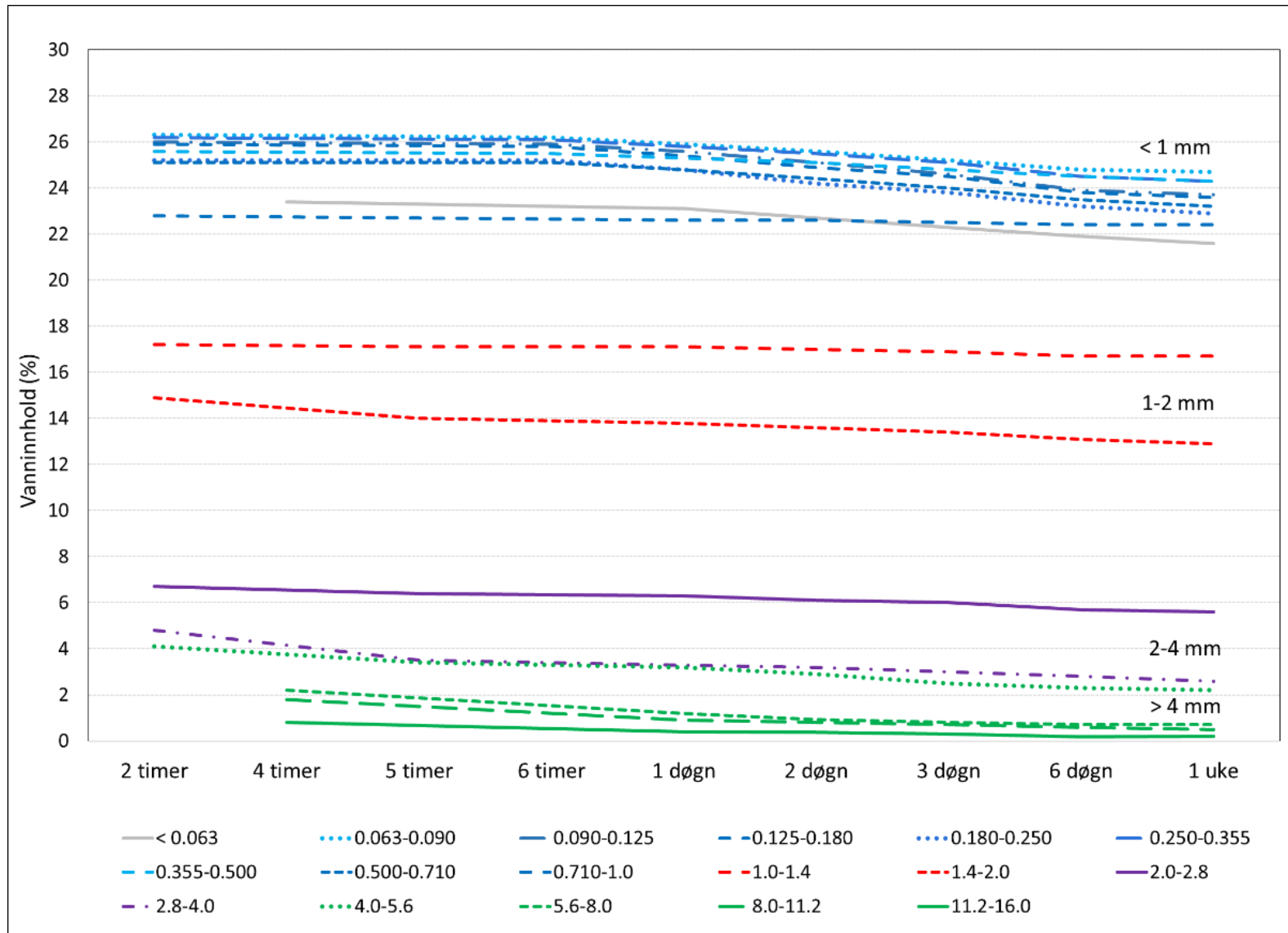
Resultater fra forsøkene



Røyneberg:

- Et tydelig skille ved ca. 1 mm, stabilt vanninnhold 25-27 %
- For korn > 4 mm er vanninnholdet stabilt lavt og < 2 %
- Legg merke til at fraksjonen < 0,063 mm har noe lavere vanninnhold enn dem som er noe grovere

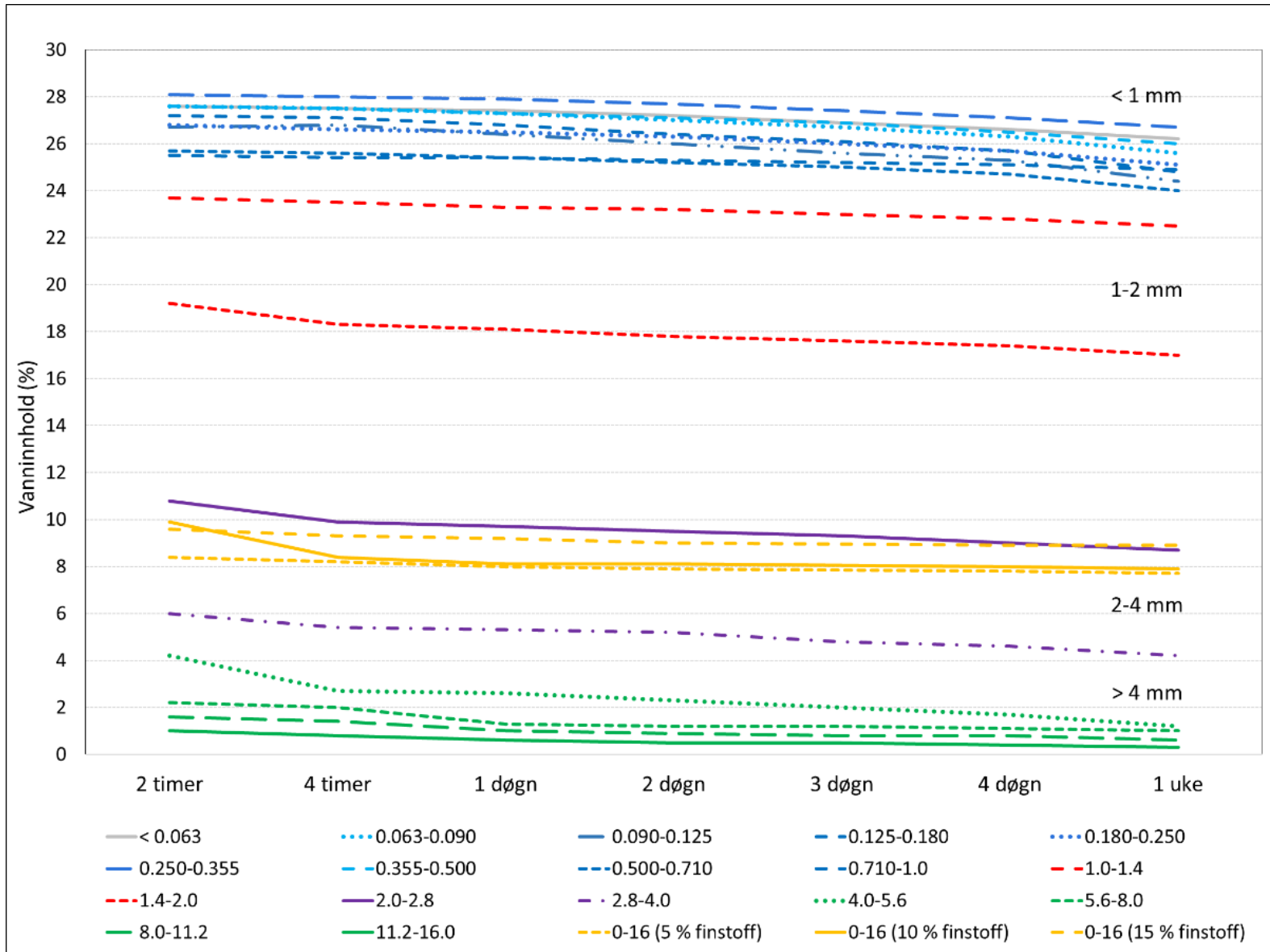
Resultater fra forsøkene



Vassfjell:

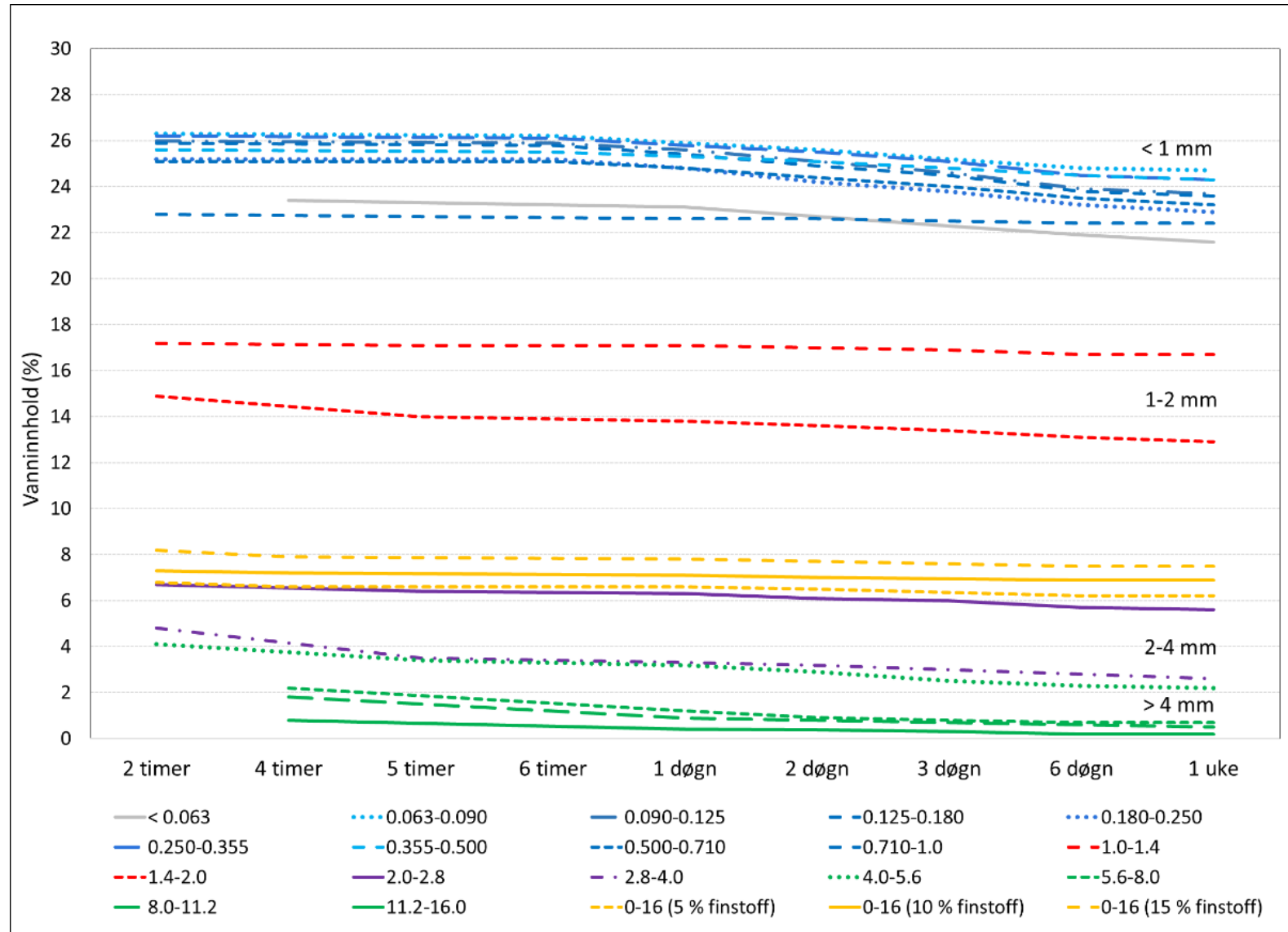
- Også her et tydelig skille ved ca. 1 mm, stabilt vanninnhold 22-25 %
- For korn > 4 mm er vanninnholdet stabilt lavt og < 2 %
- Legg merke til at fraksjonen < 0,063 mm her har atskillig lavere vanninnhold enn dem som er noe grovere

Resultater fra forsøkene



Røyneberg med vanninnhold for sammensatte materialer 0/16 vist i gult

Resultater fra forsøkene



Vassfjell med vanninnhold for sammensatte materialer 0/16 vist i gult

Praktisk bruk som inngangsdata for frostdimensjonering

Beregning av teoretisk vanninnhold

- Enkel forholdstallmodell basert på vektandel:
 - Bidrag til vanninnhold fra enkeltfraksjon i det totale materialet regnes som:
Vanninnhold i enkeltfraksjon X Vektandel av samme enkeltfraksjon = Bidrag vanninnhold til det totale materialet
 - Alle enkeltbidragene summeres for å finne det teoretiske vanninnholdet i det totale materialet
 - Eksempel – Vassfjell med 5, 10 og 15 % finstoff

Vassfjell 0-16 mm	w (%)	5 %		10 %		15 %	
		Andel (%)	Bidrag w (%)	Andel (%)	Bidrag w (%)	Andel (%)	Bidrag w (%)
< 0.063	21,6	5	1,1	10	2,2	15	3,2
0.063-0.090	24,7	2	0,5	1	0,2	0,5	0,1
0.090-0.125	23,7	2	0,5	1	0,2	0,5	0,1
0.125-0.180	23,6	1,5	0,4	1,5	0,4	1	0,2
0.180-0.250	22,9	1,5	0,3	1,5	0,3	1	0,2
0.250-0.355	24,3	2,5	0,6	2	0,5	2	0,5
0.355-0.500	24,3	2,5	0,6	2	0,7	2	0,5

- Mer avanserte modeller kan tenkes, men er ikke sett på hittil

Praktisk bruk som inngangsdata for frostdimensjonering

Sammenlikning mellom målt og teoretisk vanninnhold for de sammensatte materialene:

	Vassfjell (0-16 mm)		Røyneberg (0-16 mm)	
	Målt w (%)	Teoretisk w (%)	Målt w (%)	Teoretisk w (%)
5 % finstoff	6,2	7,4	7,7	8,6
10 % finstoff	6,9	7,8	7,9	9,0
15 % finstoff	7,5	8,7	8,9	10,5

Også et mer innledende forsøk bekrefter dette (måleresultater ikke vist tidligere i presentasjonen):

	Vassfjell (0-16 mm)		Røyneberg (0-16 mm)	
	Målt w (%)	Teoretisk w (%)	Målt w (%)	Teoretisk w (%)
Uten finstoff	7,7	8,0	10,1	9,9
7 % finstoff	6,7	7,7	9,4	9,3

Det er litt forskjell mellom målt og beregnet vanninnhold – men ikke veldig stor. Den enkle modellen er i alle fall bedre enn antakelser, og vil med fordel kunne benyttes for estimering av vanninnhold i grovere materialer

Ser også ut til at Røyneberg, som har mer glimmer enn Vassfjell, også får høyere vanninnhold. Dette litt på tross av at Vassfjell har noe finere finstoff enn Røyneberg (altså det under 0,063 mm)

Praktisk bruk som inngangsdata for frostdimensjonering

Om man benytter kombinasjonen (gjennomsnitt) av Røyneberg og Vassfjell kan man f.eks. tenke seg følgende inngangsverdier for vanninnhold:

		Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3	
Kornstørrelse	w (%)	Andel (%)	Bidrag w (%)	Andel (%)	Bidrag w (%)	Andel (%)	Bidrag w (%)
< 1 mm	24,4	5	1,2	20	4,9	75	18,3
1-4 mm	11,3	20	2,3	75	8,5	5	0,6
> 4 mm	0,9	75	0,7	5	0,0	20	0,2
Vanninnhold			4,2		13,4		19,0

NB! Tabellen er kun basert på to materialer, og man skal være litt forsiktig med å generalisere.

Vi ser ut fra dette kan det likevel tyde på det antatte vanninnholdet i N200 for grove materialer nok er litt i høyeste laget, i alle fall for udrenerte forhold.

Praktisk bruk som inngangsdata for frostdimensjonering

Diskusjon - usikkerheter

- Tilføring av vann
 - Tilførsel ved helling av vann over tørr prøve
 - Kanskje kunne neddykking med etterfølgende avrenning vært et alternativ
- Tørrdensiteten økte med økende kornstørrelse
 - Kan skyldes ulik kornform for ulike fraksjoner – dette ble ikke undersøkt
- Usikkerhet opp mot praktisk bruk
 - Prøvehøyde vs. lagtykkelser
 - Ville høyere prøver vært mer realistisk og gitt et annet vanninnhold?
 - Dersom kapillær stighøyde er mindre enn prøvehøyden vil trolig vanninnholdet være avhengig av prøvehøyden
 - Men: Dersom kapillær stighøyde er *mye* mindre enn kapillær stighøyde, vil trolig feilkilden gi liten innvirkning siden vannet i liten grad er bundet i porene men heller på partikkeloverflatene og ev. kontaktpunkter mellom partiklene
 - Vi har funnet maksimalt vanninnhold – ikke sikkert det er det riktige vanninnholdet i ei beregning for frost

Konklusjoner

- Førstøkk med smale fraksjoner viser at man med en enkel forholdstallmodell kan estimere maksimalt vanninnhold
- Materiale under 1 mm har høyt vanninnhold (ca. 25 % og høyere), 1-4 mm har sterkt fallende vanninnhold med økende kornstørrelse, mens materiale > 4 mm har veldig lavt vanninnhold (< ca. 1 %)
- Mineralogi har en del å si for maksimalt vanninnhold