

NGU Rapport 94.063

Knuseprosedyrens innvirkning på  
fallprøven. Delrapport 2.

Rapport nr. 94.063		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Knuseprosedyrens innvirkning på fallprøven. Delrapport 2.				
Forfatter: Arnhild Ulvik		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:		Kommune:		
Kartbladnavn (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 35	Pris: 55,-	
		Kartbilag:		
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 28. juni 1994	Prosjektnr.: 67.2446.00	Ansvarlig: <i>Robert Thøgersen</i>	
Sammendrag:				
<p>Seks ulike prøvemengder av samme bergart er knust ned med konstant utløpsåpning på en laboratrieknuser med den hensikt å undersøke om prøvemengden innvirker på knuseforløpet og fallprøveresultatet.</p> <p>Resultatene fra dette innledende knuseforsøket viser at det er en sammenheng mellom fallprøve-resultatet og mengde nedknust materiale. Fallprøveresultatet forbedres med økende prøvemengde. Det må utføres et utvidet knuseforsøk før endelig konklusjon kan trekkes, men foreløpig resultat tyder på at det kan være sammenheng mellom prøvemengde og utløpsåpning for å oppnå optimal knusing. Optimal knusing for fallprøven oppnås når det produseres mest materiale innenfor testfraksjonen 8.0-11.2 mm.</p> <p>Før ny standardisering av forskrift for laboratrieknusing ved fallprøvetesting revideres bør det utføres flere undersøkelser som klarlegger forholdet mellom prøvemengde, utløpsåpning og fallprøvetesten.</p>				
Emneord:	Ingeniørgeologi	Kornfordeling		
Fallprøve	Byggeråstoff	Fagrapport		

## INNHALDSFORTEGNELSE

	side
1 KONKLUSJON .....	4
2 INNLEDNING .....	5
3 UTFØRELSE .....	6
3.1 Tekniske data om laboratorieknuseren .....	6
3.2 Gjennomkjøring av forsøk .....	6
4 RESULTATER .....	8
4.1 Densitet .....	8
4.2 Kornfordeling .....	8
4.3 Optimal knusing .....	10
4.4 Fallprøveresultater .....	12
4.5 Håndstykketørrelser .....	20
5 DISKUSJON .....	21
6 SVAKHETER OG FEILKILDER VED UNDERSØKELSEN .....	24
7 FORSLAG TIL FORBEDRINGER RUNDT KNUSEPROSESSEN OG VIDERE ARBEID	25
8 LITTERATUR .....	26

### VEDLEGG:

Vedlegg 1-2	Kornfordelingsanalyse
Vedlegg 3-8	Mekaniske analyseresultater
Vedlegg 9	Fallprøveresultater med paralleller, omslags- og middelveier

## 1 KONKLUSJON

Seks ulike prøvemengder av samme bergart er knust ned med konstant utløpsåpning på en laboratorieknuser med den hensikt å undersøke om prøvemengden har innvirkning på knuseforløpet og fallprøveresultatet.

Fra dette innledende knuseforsøket går det fram at det er en sammenheng mellom fallprøveresultatet og mengde nedknust materiale. Fallprøveresultatet forbedres med økende prøvemengde for den valgte utløpsåpningen som er holdt konstant. Det må utføres et utvidet knuseforsøk før endelig konklusjon kan trekkes, men foreløpig resultat tyder på at det kan være sammenheng mellom prøvemengde og utløpsåpning for å oppnå optimal knusing. Optimal knusing for fallprøven oppnås når det produseres mest materiale innenfor testfraksjonen 8.0-11.2 mm.

Før ny standardisering av forskrift for laboratorieknusing ved fallprøvetesting revideres bør det utføres flere undersøkelser som klarlegger forholdet mellom prøvemengde, utløpsåpning og fallprøvetesten.

## 2 INNLEDNING

Tidligere forsøk har vist at laboratorieknusing har stor innvirkning på fallprøveresultatene. Et av forsøkene har blant annet gått ut på å variere spalteåpningen for samme type laboratorieknuser (E. Erichsen 1992). Et annet forsøk er utført med tre identiske knusere, og med lik utløpsåpning (E. Erichsen 1993). I begge tilfellene besto prøvematerialet av forskjellige bergarter, og det ble utført fallprøvetest og kornfordelingsanalyse etter nedknusing.

Ut fra resultatene fra disse forsøkene konkluderes det med at en får optimal knusing for fallprøven når utløpsåpningen til laboratorieknuseren justeres slik at størst andel nedknust materiale havner i fallprøvefraksjonen. Dette kontrolleres ved kornfordelingsanalyser etter hver gjennomført knusing. Dette er foreslått tatt med som en forbedring av beskrivelsen av knuseprosedyren i Statens vegvesens håndbok 014 Laboratorieundersøkelser.

Knusing av forskjellige bergarter har ikke vist seg å innvirke nevneverdig på knuseresultatet, da knuseforløpet synes å foregå likt (E. Holt 1993). I praksis vil det si at ved nedknusing av forskjellige bergarter med lik utløpsåpning gir tilnærmet lik kornfordelingskurve uavhengig av bergartstype. Når paralleller av **samme** bergart knuses ned viser det seg dessuten at kornkurven ikke blir identisk for hver knusing. En annen knuseserie (E. Erichsen 1992) med fem ulike bergarter viser en viss variasjon mellom kornfordelingskurvene. Det synes som om variasjonene som forekommer alltid oppstår i den fraksjonen det produseres mest materiale i. En kan ikke utelukke at ulike bergarter har innvirkning på knuseresultatet, men det oppstår som nevnt også variasjoner mellom paralleller av samme bergart.

Som et videre ledd i prosessen for en standardisering av knuseprosedyren er det i denne rapporten undersøkt om hvorvidt **prøvemengde** innvirker på knuseforløpet og fallprøveresultatet.

Det er også forsøkt belyst om håndstykkestørrelsen innvirker på knuse- og fallprøveresultatet.

### 3 UTFØRELSE

#### 3.1 Tekniske data om laboratorieknuseren

Laboratorieknuseren som ble benyttet under forsøket var en Aker rotasjonsknuser 200x120, som er en kjefteknuser. Tekniske data for knuseren er som følger:

Innløpsåpning:	200x120 mm
Utløpsåpning:	8-20 mm
Omdreiningstall:	ca. 300 o/min.
Slaglengde:	8 mm

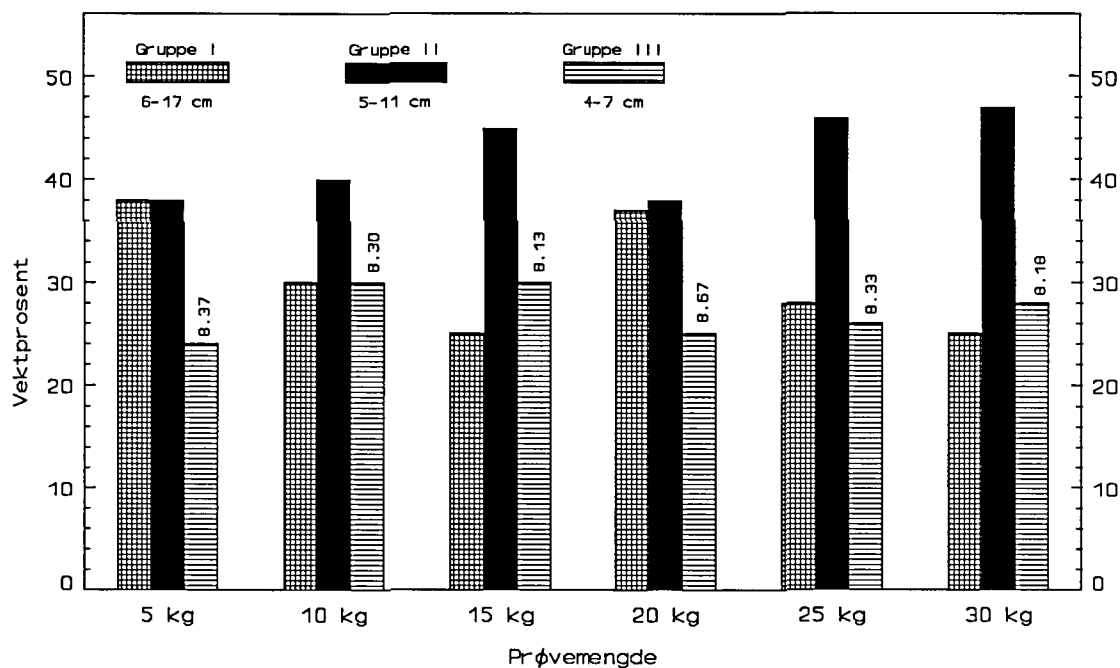
Platene har riflet overflate. Ved slitasje kan begge platene vendes før utbytting. Slitasjen blir størst nederst i knusekammeret og er større på den faste platen i forhold til den bevegelige.

#### 3.2 Gjennomkjøring av forsøk

Produksjonsknust maskinkult i håndstykkestørrelser ble fordelt på 5, 10, 15, 20, 25 og 30 kg store prøver. Prøvematerialet som ble benyttet under forsøket var en gabbro. Håndstykkestørrelsene varierte, men ble forsøkt fordelt så likt som mulig mellom de seks ulike prøvemengdene. Håndstykkestørrelsene ble delt inn i tre grupper etter form og vekt. Gruppe I bestod av de største håndstykkene, der størrelsen varierte mellom 6-17 cm. Det var også stor vektvariasjon på håndstykkene i denne gruppen. Enkelte steiner veide opptil 1.6 kg, mens de minste innen gruppen bare veide noen få hundre gram. I gruppe II varierte håndstykkestørrelsen fra 5-11 cm, med enkelte stenglige avvik med lengde opp til 15 cm. I gruppe III var steinene jevnere både i vekt og form. De fleste steinene her holdt seg innen et intervall mellom 4-7 cm. Figur 3.1 viser vektprosent fordeling innenfor hver gruppe. Dette er tatt med for å se om eventuelle ujevnheter i håndstykkestørrelsene kan ha innvirkning på knuseresultatet. Tallene over kolonnen lengst til høyre karakteriserer håndstykkestørrelsen for hver prøvemengde. Disse er framkommet ved å summere prosentandelen av hver gruppe multiplisert med middelerdien for den tilhørende håndstykkestørrelse. Middelerdien for gruppe I er 11.5 cm, for gruppe II 8.0 cm og for gruppe III 5.5 cm. Ut fra beregningen får prøven med 20 kg høyest verdi, deretter følger 5, 25, 10, 30 og 15 kg.

Av figuren ser en at fordelingen mellom de tre gruppene er nokså jevn i vektprosent for alle de seks prøvemengdene. Mest materiale i vektprosent er det i gruppe II for alle prøvene, med unntak av 5 kg prøve som har like mye i vekt fra både gruppe I og II. Andelen materiale er høyest for prøve på 5 og 20 kg i gruppe I, mens den i gruppe II er høyest for prøve 15, 25 og 30 kg. I gruppe III er variasjonene som nevnt ubetydelige.

I gruppe I har prøve 5, 10, 15 og 25 kg et innhold av enkelte store stein som skiller seg vesentlig ut med vekt eller størrelse fra resten av steinene i gruppen.



Figur 3.1 Vektprosent fordeling av testmaterialet innenfor de ulike gruppene.

Før knusing ble alle håndstykkene grundig vasket, slik at belegg ble fjernet. Deretter ble de tørket.

Det ble benyttet lik utløpsåpning for alle de ulike prøvemengdene. Utløpsåpningen ble stilt inn på 10 mm, målt ved maksimal stilling. Med en slaglengde på 8 mm er utløpsåpningen ved minimum stilling lik 2 mm.

Som en kontroll i tilfelle knuseforløpet skulle vise endringer i løpet av denne undersøkelsen ble kornfordelingskurven for materiale knust før og etter dette forsøket registrert, figur 5.1.

Knusingen ble gjennomført etter standard prosedyre (Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser). Første gangs knusing ble utført ved at håndstykke for håndstykke ble matet i knuseren. Ved andre gangs knusing ble hele prøven fylt i knusekammeret. Samme prosedyre ble utført for alle prøvemengdene. Prøvene ble knust ned i avtagende størrelse, slik at prøven på 5 kg ble knust sist.

Materialet ble siktet ut for framstilling av kornfordelingskurver for hver prøvemengde. Deretter ble det utført fallprøve med tre paralleller for fraksjonen 8.0-11.2 mm. For prøven på 5 kg ble det kun nok materiale for en parallell.

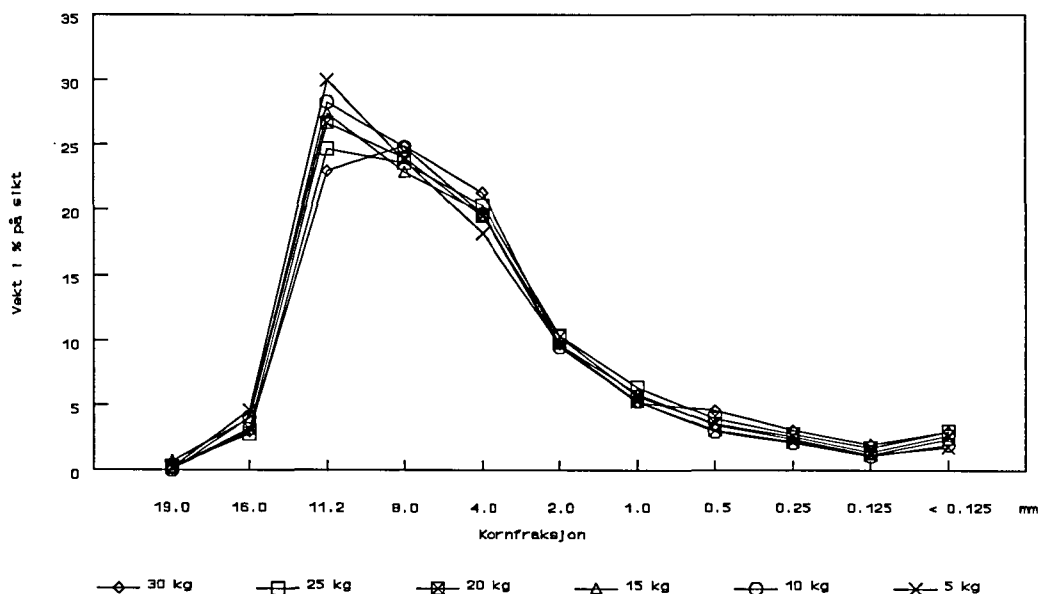
## 4 RESULTATER

### 4.1 Densitetsmålinger

Det ble utført densitetsmåling for alle seks prøvene for å kontrollere testmaterialets homogenitet. Prøvematerialet er hentet fra et pukkverk der det kan opptre to ulike bergarter. Det drives produksjon av pukk på begge bergartene. Bergartene har ulik egenvekt, og en sammenblanding av disse to vil være uheldig for forsøket. Densiteten varierte mellom 3.06 og 3.07 g/cm<sup>3</sup>, hvilket betyr en "ren" bergart.

### 4.2 Kornfordeling

Prøvene ble siktet for kornfordelingsanalyse etter knusing. Resultatene er vist i vedlegg 1 og 2. Det er benyttet to måter å framstille optimal knusing på. Den ene måten benytter avvik i vektprosent materiale på sikt mens den andre benytter kumulativ fordeling. I figur 4.1 er kornfordelingsresultatene sammenstilt for de seks ulike prøvene med prøvemengde fra 5 til 30 kg.

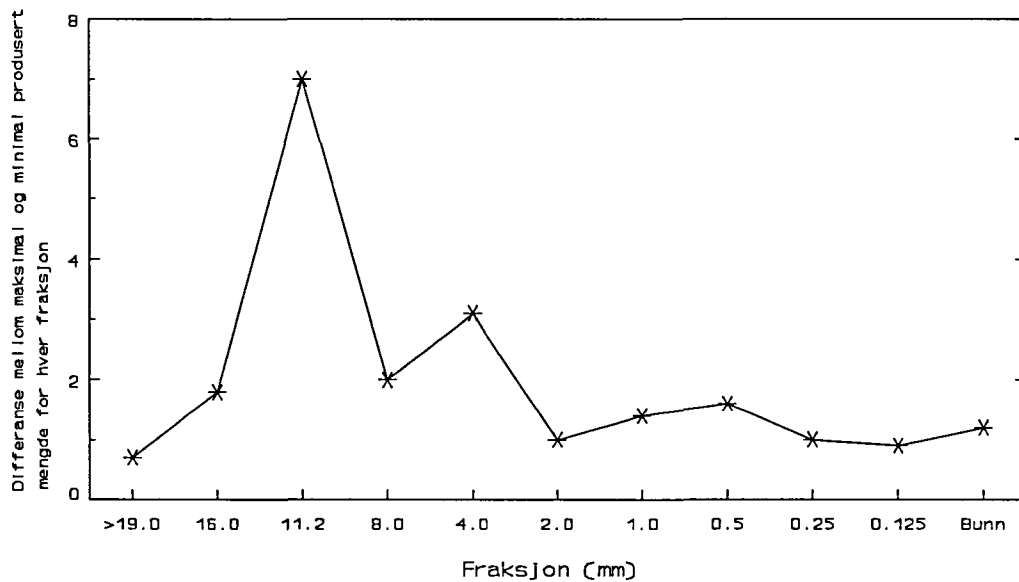


Figur 4.1 Kornfordelingskurver for de seks ulike prøvene.

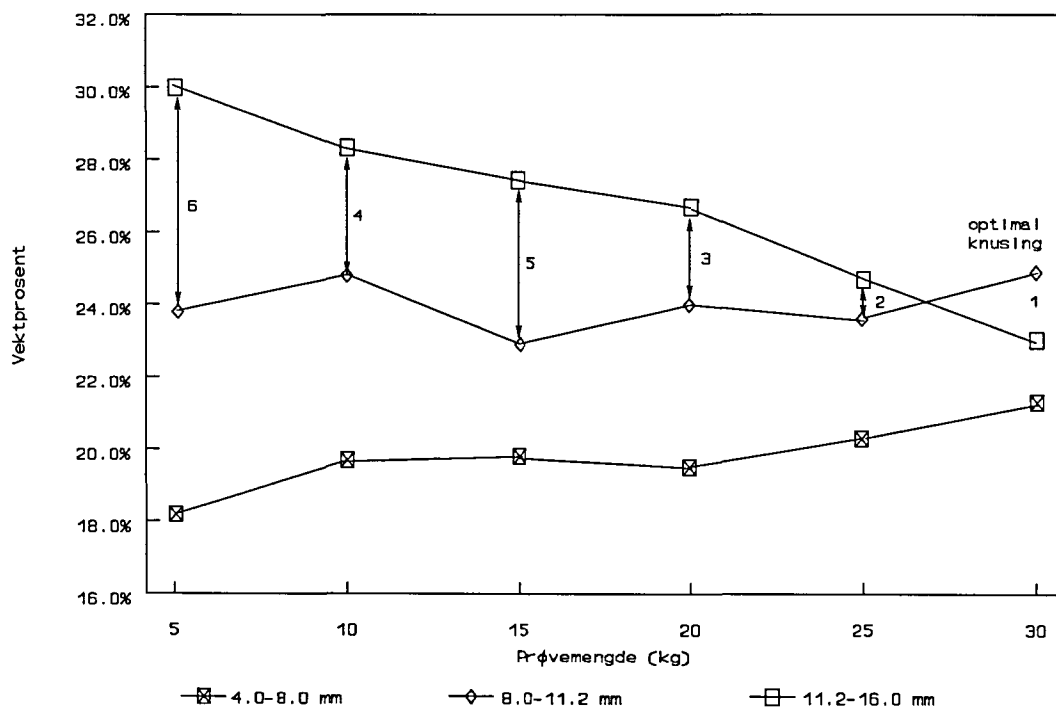
Av resultatene framgår det at prosentvis vekt av materiale i fraksjonen 11.2-16.0 mm øker med avtagende prøvemengde. Kun den største prøven viser optimal knusing for 8.0-11.2 mm-fraksjonen. Dette fremgår ved at mest materiale har havnet i denne fraksjonen.



For å få framstilt hvor stor variasjon i produsert mengde det er for hver fraksjon for de seks prøvene er differansen mellom maksimum og minimum vektprosent mengde nedknust materiale beregnet, figur 4.2. Fraksjon 11.2-16.0 mm viser klart størst variasjon fulgt av 4.0-8.0 mm fraksjonen. Deretter kommer 8.0-11.2 og 16.0-19.0 mm. De øvrige kornfraksjonene viser mindre variasjon.



Figur 4.2 Variasjon i produsert mengde for hver fraksjon.

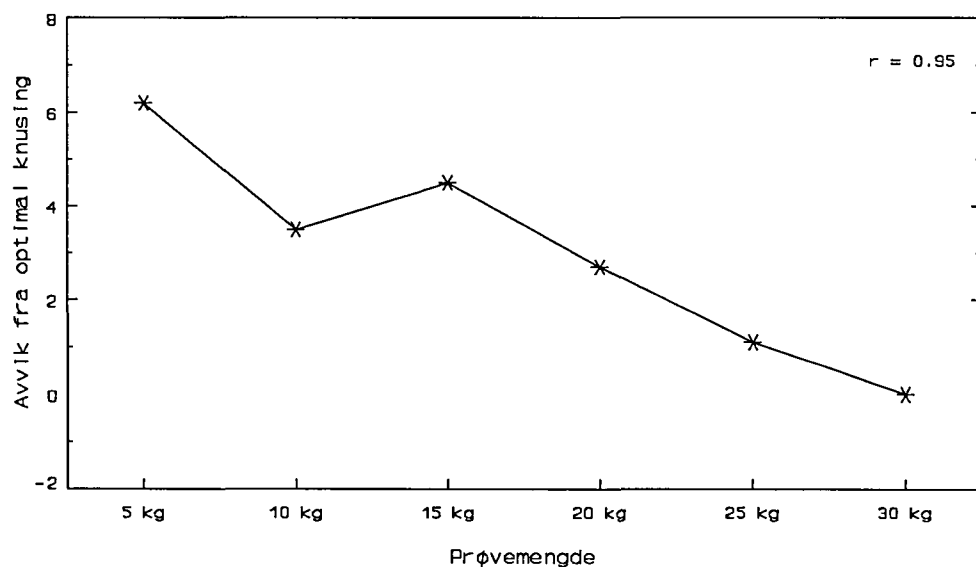


Figur 4.3 Sammenheng mellom prøvemengde og andel vektprosent knust materiale for tre fraksjoner.

Knuseresultatet er kun optimalt for prøvemengden 30 kg. For de øvrige prøvene blir det dårligere jo mindre mengde prøvemateriale som testes, figur 4.3. 10 kg prøve avviker fra dette ved at prøven er bedre knust enn 15 kg prøve. For de minste prøvemengdene ser det ut til at det er blitt produsert mer grovt materiale (11.2-16.0 mm) på bekostning av den lavere fraksjonen 4.0-8.0 mm, mens produksjonen av materiale 8.0-11.2 mm er forholdsvis stabil for alle prøvene.

### 4.3 Optimal knusing

Det benyttes her to metoder for å uttrykke optimal knusing. Optimal knusing opptrer som nevnt når det produseres mest materiale i 8.0-11.2 mm-fraksjonen. Dette kan framstilles ved at optimal knusing gis måleverdien 0. Avvik fra optimal knusing kan beregnes ved differansen mellom vektprosent for den fraksjonen som gir størst verdi og vektprosent for fraksjonen 8.0-11.2 mm. F.eks. når det produseres mest materiale i fraksjonen 11.2-16.0 mm, måles avviket ved vektprosent for fraksjonen 11.2-16.0 mm minus vektprosent for fraksjonen 8.0-11.2 mm, figur 4.4.



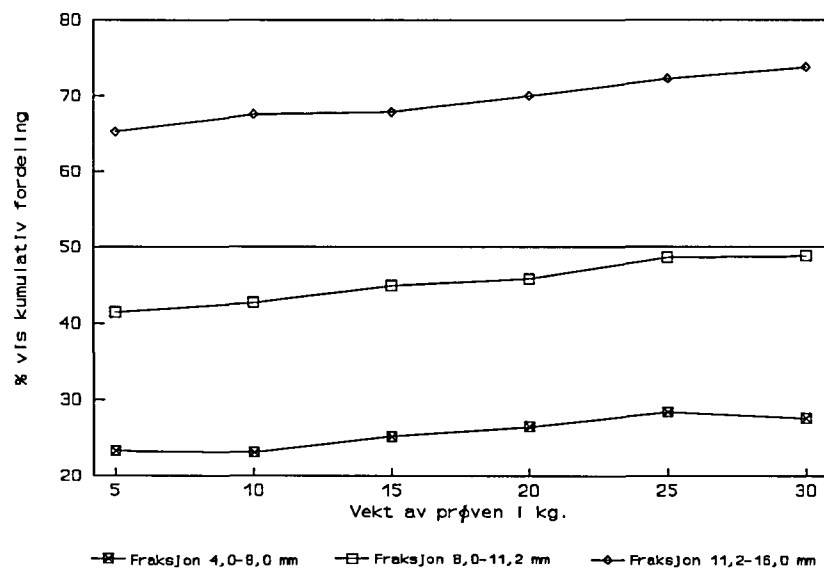
Figur 4.4 Grad av optimal knusing for hver prøvemengde.

For fraksjoner som gir størst verdi og som er større enn 8.0-11.2 mm beregnes positive verdier i avvik, mens for fraksjoner mindre enn 8.0-11.2 mm beregnes negative verdier i avvik.

Den andre metoden for å framstille optimal knusing på er å benytte kumulativ fordeling. For produksjonsknusere vil  $d_{50}$  (50% kumulativ = 50% gjennomgang på sikt) for knuseproduktet vanligvis svare til utløpsåpningen, men da målt ved trangeste stilling (M. Digre et. al. 1979).

Utløpsåpningen bør derfor velges etter ønsket sluttprodukt. I praksis har det vist seg at best resultat på sluttproduktet oppnås ved utløpsåpning, målt ved **minimum** avstand, rundt eller like i overkant av  $d_{50}$ . Under dette forsøket er det som nevnt benyttet en utløpsåpning på 10 mm, målt ved **maksimum** avstand. Mest materiale er blitt produsert i fraksjonen 8.0-11.2 og 11.2-16.0 mm, altså i nærheten av utløpsåpningen ved største stilling. Det virker som om erfaringene med produksjonsknusere kan overføres til laboratorieknusere, men med den forskjellen at en benytter *største* utløpsåpning som referanse.

Figur 4.5 viser kumulativ vektprosentlig gjennomgang av materiale for de ulike prøvemengdene. Linja for  $d_{50}$ , som representerer det optimale sluttprodukt for produksjonsknust materiale, er lagt inn på figuren. Det går fram av resultatene at de største prøvene er best knust, men et optimalt sluttprodukt er ikke fullstendig oppnådd. For å oppnå optimal knusing for fraksjon 8.0-11.2 mm må utløpsåpningen trolig minskes noe for alle prøvemengdene mindre enn 30 kg. Sluttproduktet vil da ligge nærmere  $d_{50}$ . For de minste prøvene må det sannsynligvis større justeringer til for å oppnå optimal knusing for fraksjon 8.0-11.2 mm.



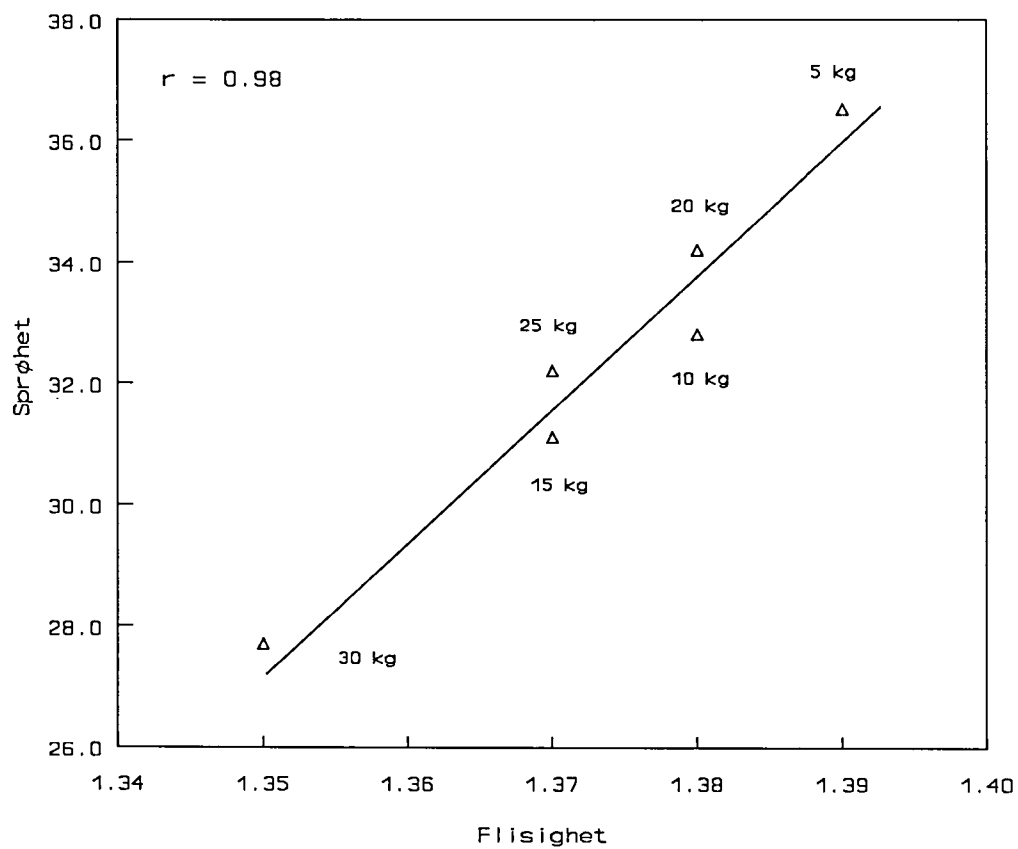
Figur 4.5 Kumulativ fordeling av fraksjonene 4.0-8.0, 8.0-11.2 og 11.0-16.0 mm mot prøvemengde.

#### 4.4 Fallprøveresultater

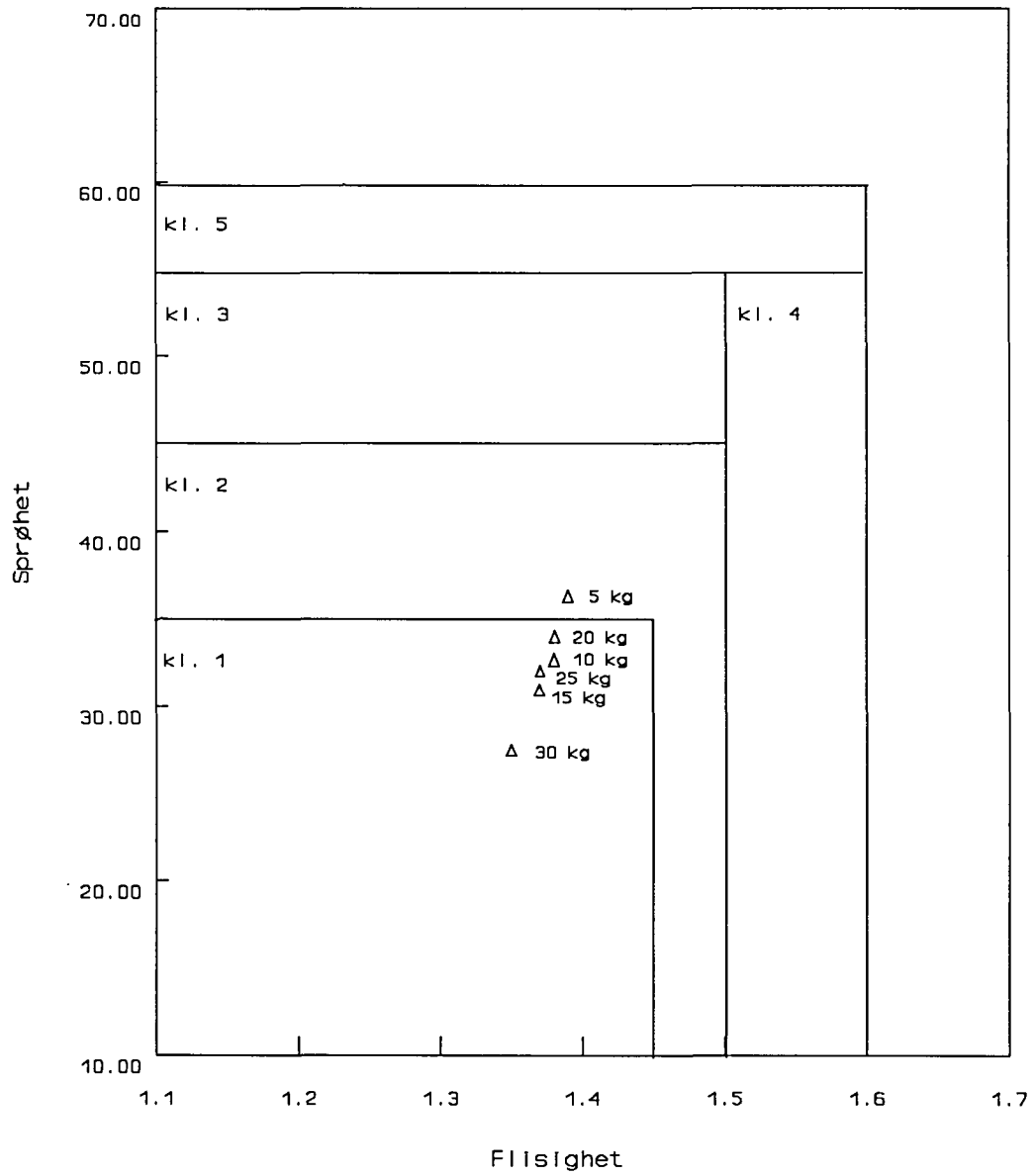
Fallprøveresultatene for hver prøve er vist i vedleggene 3-8. Vedlegg 9 viser en sammenstilling av resultatene med middelerdi, omslagsverdi og sprik mellom parallellene for de ulike prøvemengdene.

Tidligere forsøk har vist at flisighets- og sprøhetstallet for 8.0-11.2 mm fraksjonen blir dårligere med økende utløpsåpning på knuseren (E. Erichsen 1992). For fallprøvefraksjonen 11.2-16.0 mm skjer det motsatte. Der forbedres flisighets- og sprøhetstallet med økende spalteåpning. Prøvemengden har ved disse forsøkene ligget rundt 25 kg.

Av figur 4.6 går det fram at både kornform (flisighet) og sprøhet forbedres med økende prøvemengde. Det er god korrelasjon mellom flisighet og sprøhet.

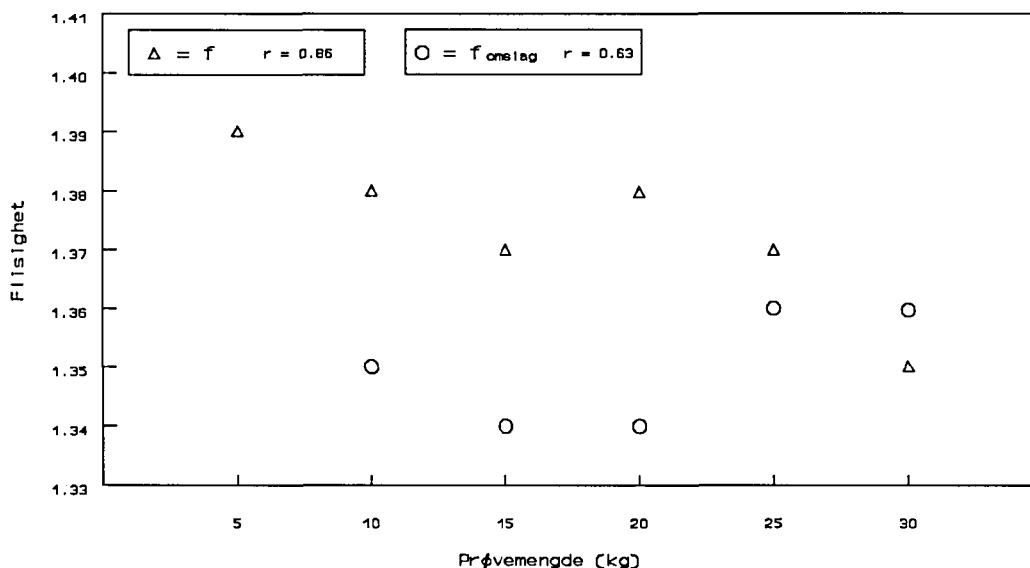


Figur 4.6 Fallprøveresultater for de seks prøvene med forskjellig prøvemengde.

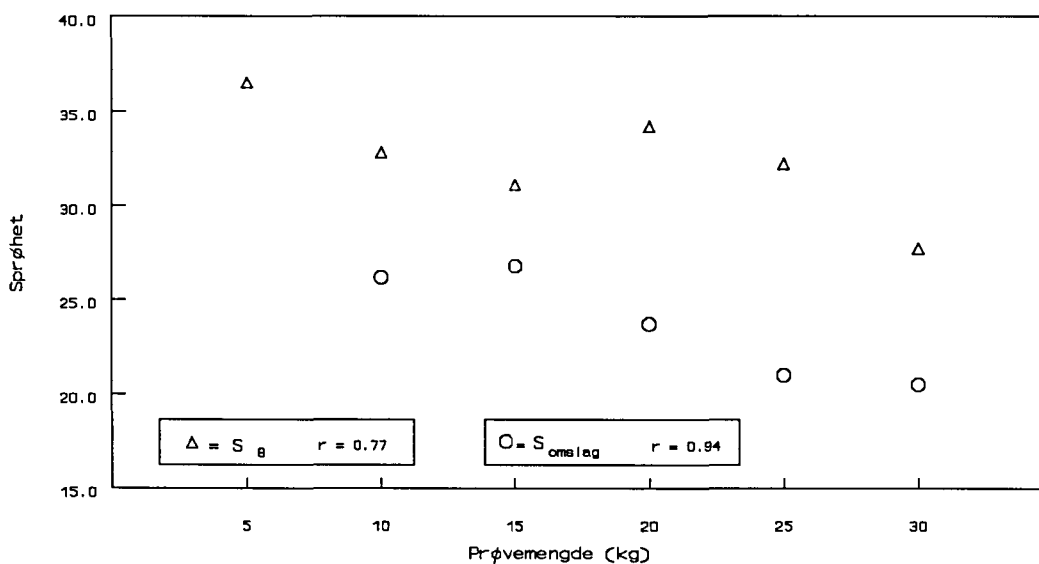


Figur 4.7 Fallprøveresultatene vist i diagram.

Figur 4.7 viser resultatene i det ordinære fallprøvedigrammet. Prøven med 5 kg havner i steinklasse 2 mens alle de andre kommer i klasse 1.



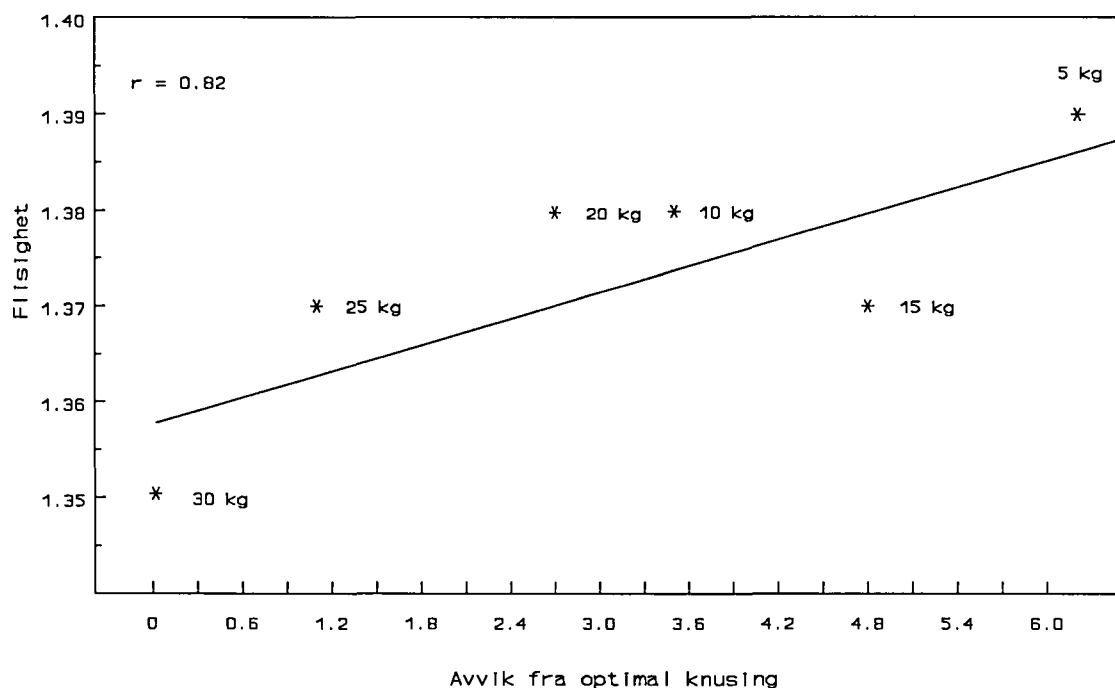
Figur 4.8 Forholdet mellom prøvemengde og flisighet.



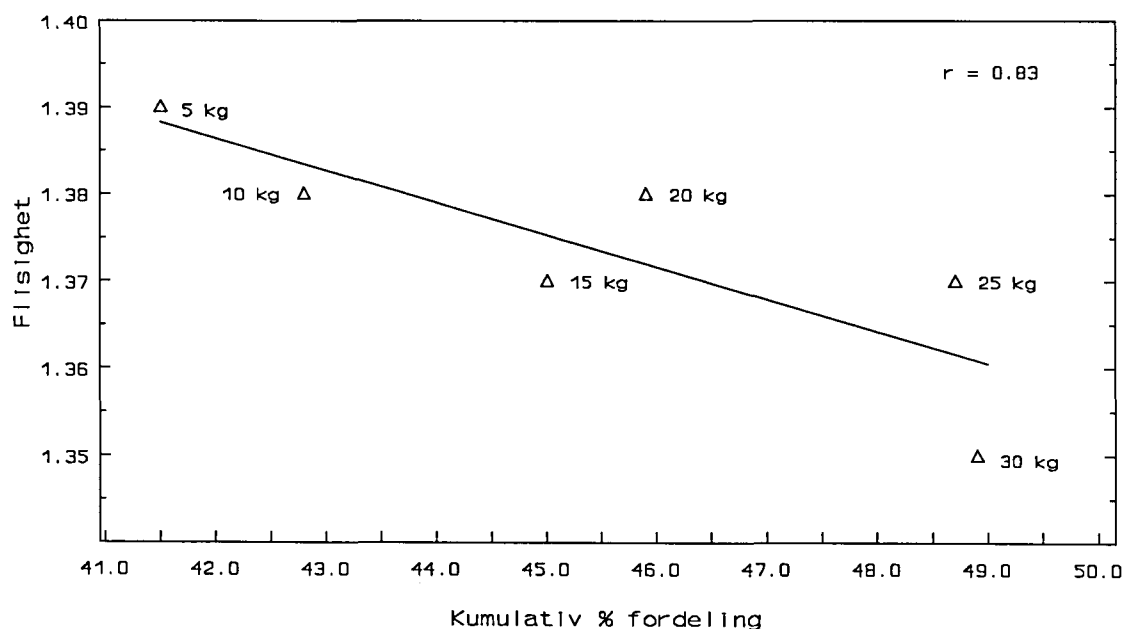
Figur 4.9 Forholdet mellom prøvemengde og sprøhet ( $s_8$ ).

Omslagsverdiene for prøvene viser en markert forbedring for kornformen (flisigheten) for 10, 15 og 20 kg, figur 4.8. For 25 og 30 kg forbedres den lite eller ingenting. Det antas at dette har nær sammenheng med at knusingen er tilnærmet det optimale for disse to prøvemengdene. For 5 kg prøve var det materiale nok for bare en parallell, og derfor ikke mulig å gjennomføre omslagsprøve. Flisigheten er nært knyttet til knusingen. Dårlig knuseresultat har ved tidligere forsøk vist seg å gi dårlige flisighetstall. Med dårlige flisighetstall følger dårlige sprøhetstall (R. Selmer-Olsen 1949, A. Grønhaug 1964, P. Höbeda 1966). I figur 4.9 viser sprøhetstallet en markert forbedring i verdi for alle prøvemengdene ved omslag. Prøve 15 kg skiller seg noe ut fra de andre ved at resultatet forbedres minst.

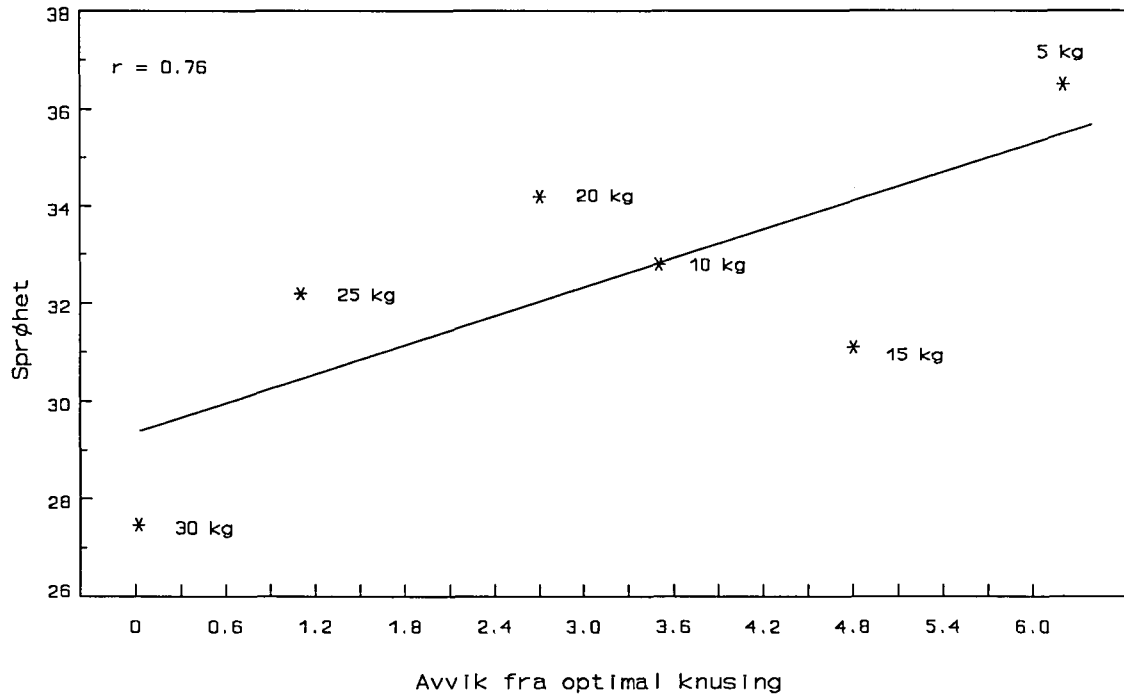
Det går fram av figur 4.10 at 10 kg prøve er bedre knust enn 15 kg prøve, når det måles i avvik fra optimal knusing. Flisigheten er derimot bedre for 15 kg enn 10 kg prøve. Generelt kan en lese av figuren at knusingen blir dårligere med høyere flisighetstall og mindre prøvemengde. Figur 4.11 viser at knuseresultatet blir bedre med økende kumulativ fordeling. Det er relativ god korrelasjon mellom flisighet og avvik fra optimal knusing og kumulativ prosentfordeling. Korrelasjonskoeffisienten er på henholdsvis 0.82 og 0.83.



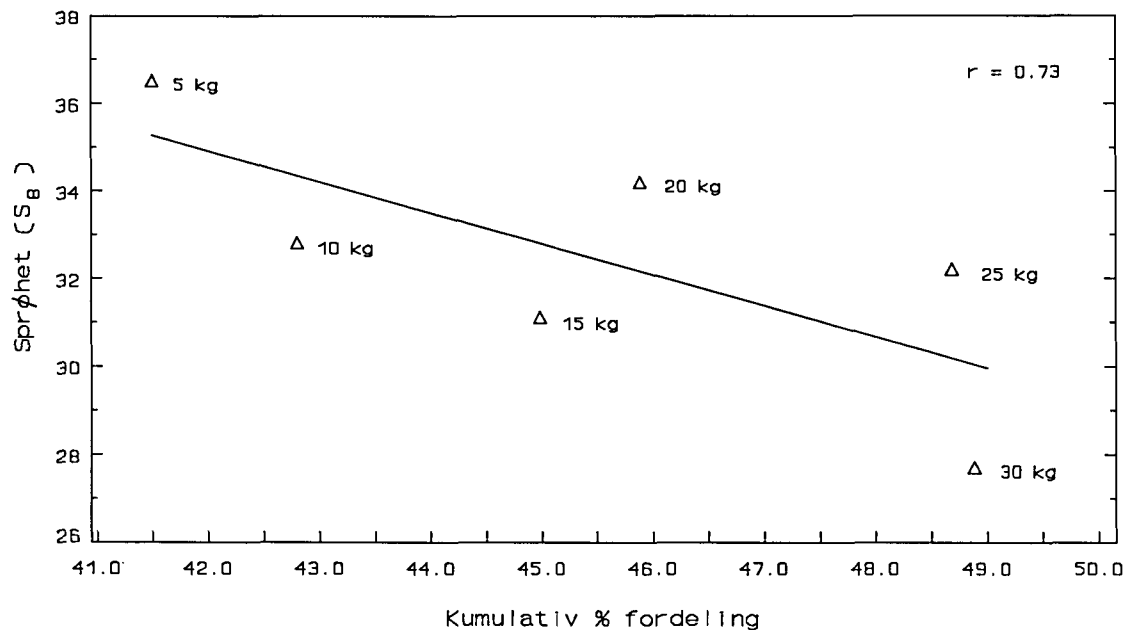
Figur 4.10 Forholdet mellom flisighet og avvik fra optimal knusing.



Figur 4.11 Forholdet mellom flisighet og kumulativ prosentfordeling.



Figur 4.12 Forholdet mellom sprøhet og avvik fra optimal knusing.

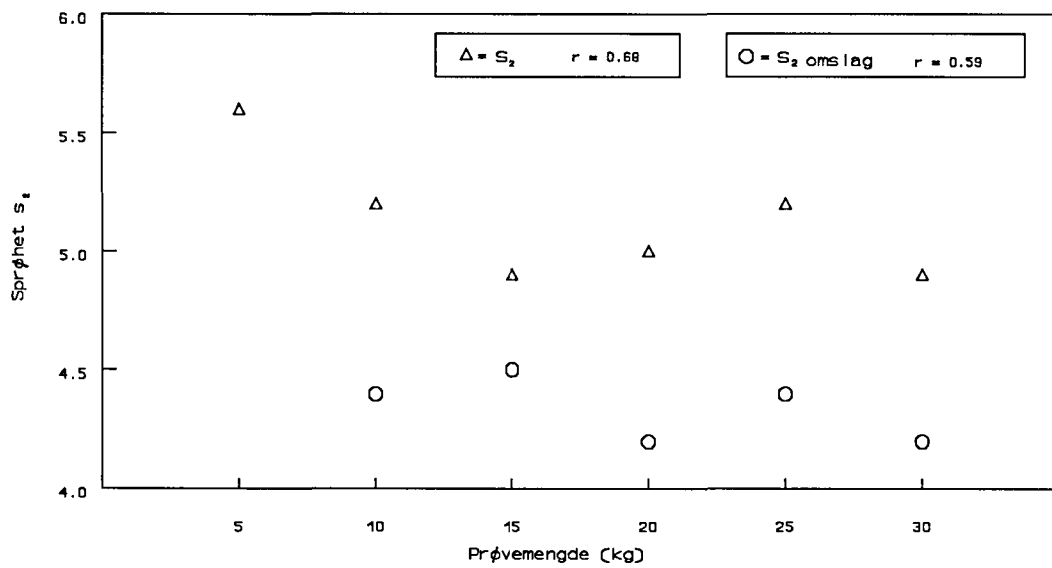


Figur 4.13 Forholdet mellom kumulativ fordeling og sprøhet.

Figur 4.12 viser de samme resultatene som for flisighet ved at prøven med 15 kg viser bedre sprøhetstall enn 10 kg. Jo større avvik fra optimal knusing, jo høyere sprøhetstall oppnås, samtidig som prøvemengden avtar. Fra figur 4.13 leses at sprøheten er lavest ved stor prøvemengde og høy kumulativ fordeling. Korrelasjonskoeffisienten for begge figurene er nokså like med verdier på 0.73 og 0.76.

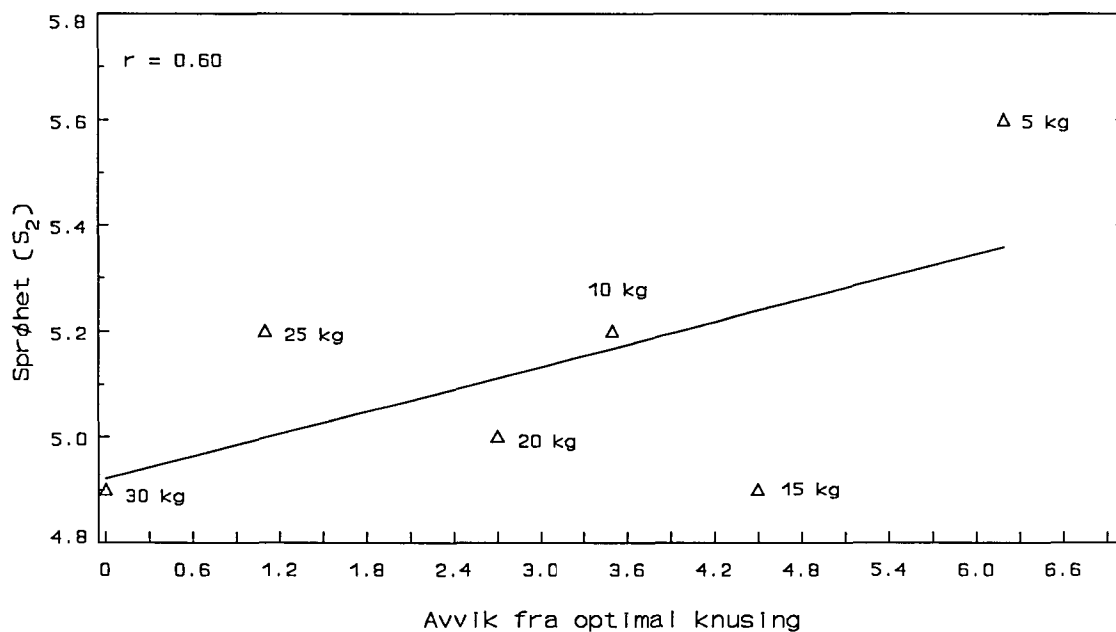


Sprøhetstallet  $s_2$  viser som  $s_8$  i figur 4.9 at størst prøvemengde gir de beste resultatene, figur 4.14. Prøve 15 kg avviker i likhet med for  $s_8$  mest ved at forbedringen etter omslag er minst.

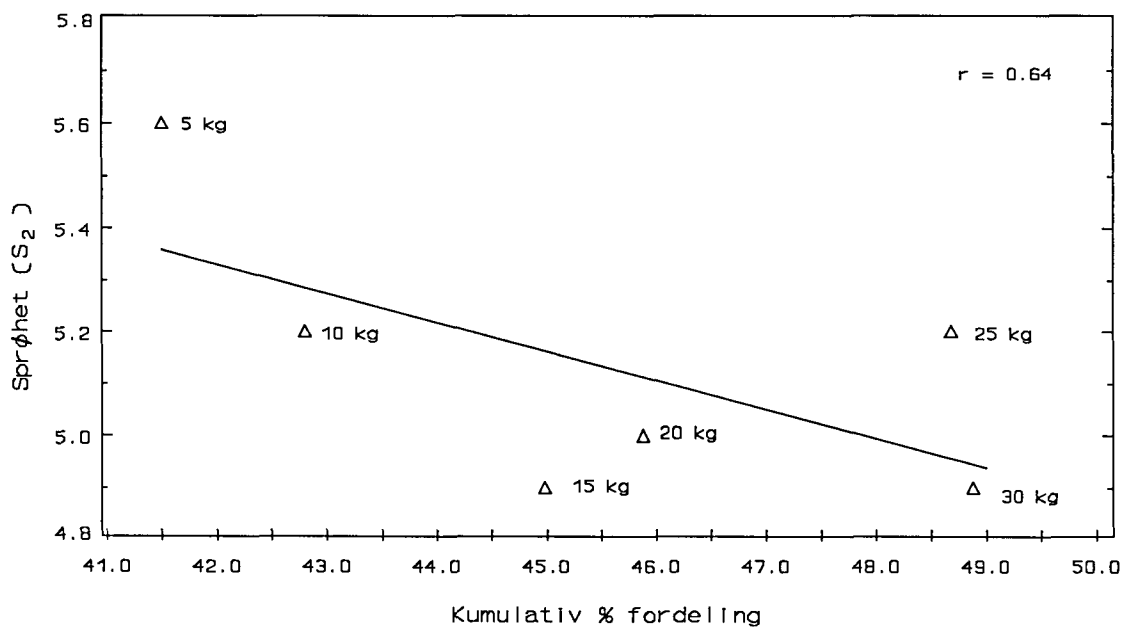


Figur 4.14 Forholdet mellom prøvemengde og sprøhet ( $s_2$ ).

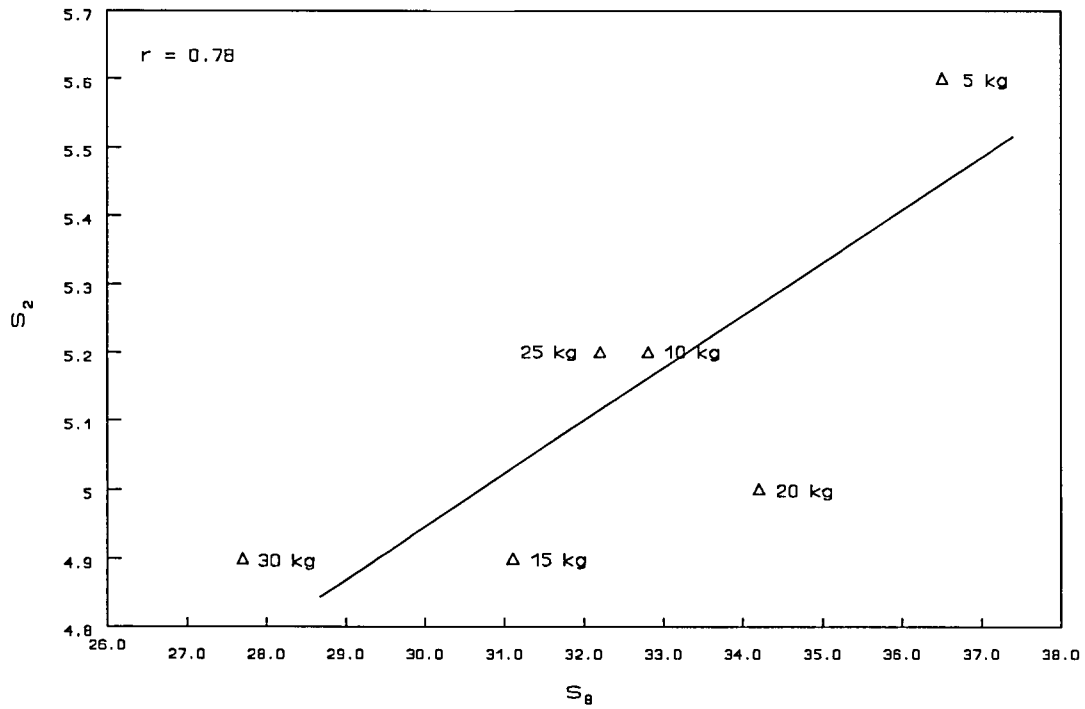
Figur 4.15 og 4.16 gir sammenhengen mellom  $s_2$  og henholdsvis avvik fra optimal knusing og kumulativ vektprosent fordeling. Det er spredning mellom resultatene, hvilket betyr at  $s_2$  korrelerer dårlig med både avvik fra optimal knusing og kumulativ fordeling.



Figur 4.15 Forholdet mellom avvik fra optimal knusing og  $s_2$ .



Figur 4.16 Forholdet mellom kumulativ fordeling og sprøhetstallet  $s_2$ .

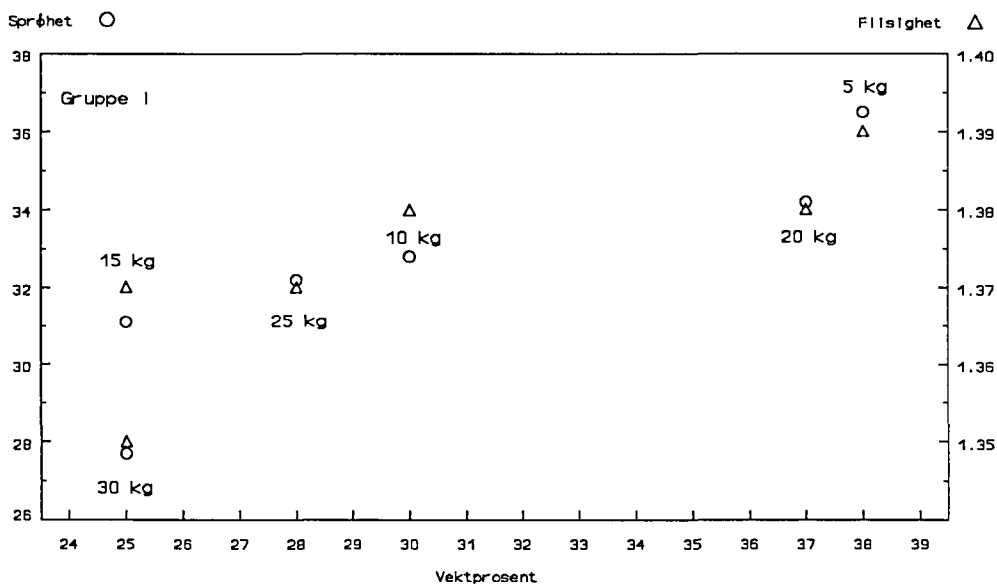


Figur 4.17 Forholdet mellom sprøhetstallene  $s_2$  og  $s_8$ .

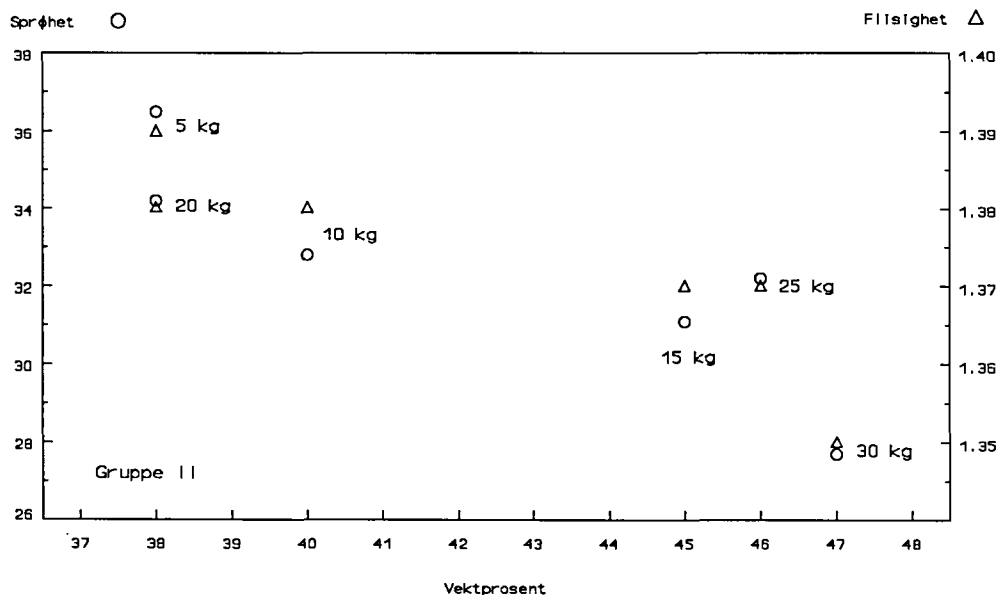
Sprøhetsverdiene  $s_2$  og  $s_8$  korrelerer dårlig, figur 4.17. Noe av dette skyldes at 15 kg prøve har både lav  $s_2$ - og  $s_8$ -verdi, og at 20 kg prøve har en noe høy  $s_8$  i kombinasjon med en lav  $s_2$ .

## 4.5 Håndstykkestørrelser

Fordelingen i vektprosent av håndstykker i gruppe I og II viser størst variasjon mellom prøvemengdene, figur 3.1. Prøvene med 5 og 20 kg inneholdt mest håndstykker i vektprosent innen gruppe I. Sprøhetstallene er også høye for disse to prøvemengdene, figur 4.18. Høyest vektprosent håndstykker i gruppe II har prøvene med 15, 25 og 30 kg. Disse tre prøvene gir de beste fallprøveresultatene, figur 4.19.



Figur 4.18 Vektprosent håndstykker i gruppe I mot fallprøven.



Figur 4.19 Vektprosent håndstykker i gruppe II mot fallprøven.

## 5 DISKUSJON

Fra produksjonsknusing har det lenge vært kjent at fyllingsgraden i knusekammeret er viktig for å oppnå et godt sluttprodukt (K. Bjørnum 1981). Det er også viktig at laboratorieknuseren blir matet jevnt, dvs. at knusekammeret er fylt opp til et visst punkt og etterfylles, eller at alt materiale som skal knuses fylles opp med en gang. Først når knusekammeret er fullt oppnås en optimal knusing.

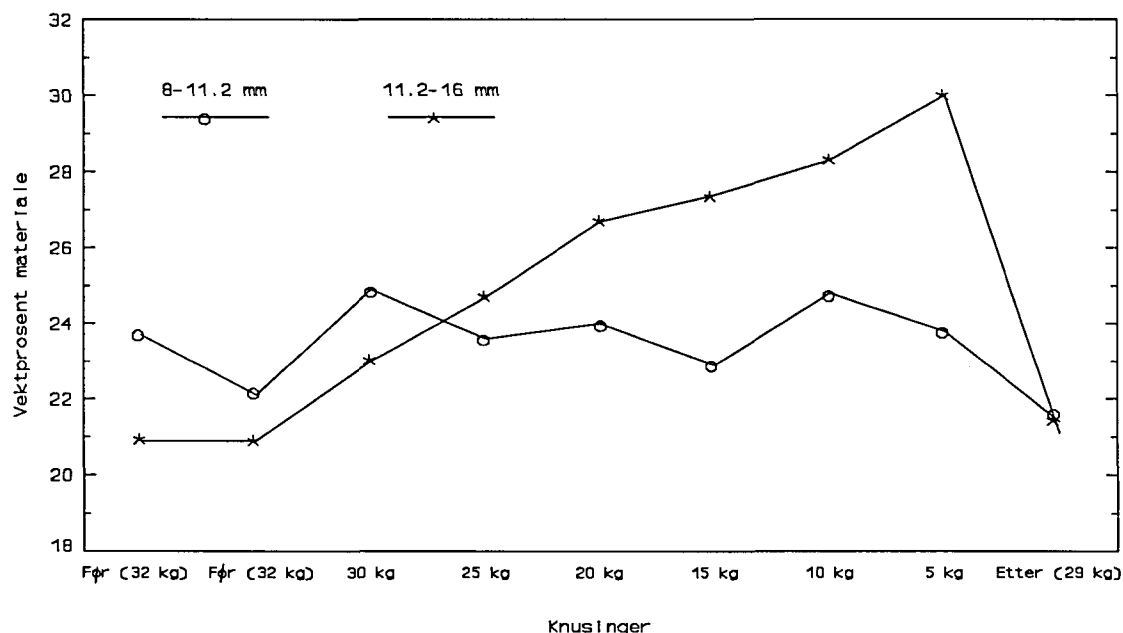
Når knusekammeret til en laboratorieknuser fylles med en 5 kg prøve ved andre gangs knusing vil en stor del av materialet passere urørt mellom tyggeplatene i starten og slutten av knusingen og en mister en del av fyllingseffekten. Materialet vil på den måten bli grovere. Dvs. kammeret er ikke fylt **lenge nok** til at optimal knusing for fraksjon 8.0-11.2 mm kan finne sted ved innstilt spalteåpning på 10 mm. Når steinmaterialet bare faller gjennom knuseren oppnås det ikke god interpartikulær knuseeffekt (steinkorn mot steinkorn). Derimot når kammeret er fylt opp fra bunn til topp økes oppholdstiden til steinmaterialet i knusekammeret og knusingen blir bedre. Det oppnås da en betydelig forbedring av kornformen som igjen påvirker sprøhetstallet. Det har også vist seg at interpartikulær knusing fjerner en del mikroriss (A. Krogseth 1993). Mikroriss kan forårsake høye sprøhetstall.

Undersøkelsene viser at en prøves totalvekt i forhold til knuserens utløpsåpning har betydning for knuse- og fallprøveresultatet. Ved å tilpasse spalteåpningen for hver prøvemengde vil en kunne optimalisere knuse- og fallprøveresultatet. Det er ved tidligere forsøk i produksjonsverk kommet fram til at resultatene blir bedre ved å øke turtallet på slagknuseren samtidig som spalteåpningen også økes (A. Krogseth 1993). Steinmaterialet utsettes da for flere nedknusninger før det passerer gjennom knusekammeret, både ved utløpsåpningen og ved interpartikulær knusing.

Uansett prøvemengde vil alltid noe materiale renne gjennom uten å bli knust ved starten og slutten av knuseprosessen. Dette skjer også i et produksjonsanlegg, men der er det jevn tilførsel av materiale over en mye lengre periode. Derfor vil det dårlig knuste materialet utgjøre en ubetydelig del av sluttproduktet i store knuseanlegg. Om man på en eller annen måte kunne fjerne det dårligst knuste materialet fra laboratorieknusingen (dvs. materiale som ved andre gangs knusing dannes i starten og slutten av hver knusing), eller ved å benytte en større (tilstrekkelig) prøvemengde, kan prøvematerialet sammenlignes mer direkte med produksjonsknust materiale.

Observasjoner før og etter knuseforsøket med ulike prøvemengder viser at knuseren produserte mest materiale i 8.0-11.2 fraksjonen før forsøket tok til. Da var knuseren riktig innstilt i forhold til prøvemengde og ønsket knuseprodukt. Prøvemengden var ca. 32 kg. Etter knuseforsøket var knusekurven noe flatet ut, dvs. at det ble produsert omtrent like mye av de tre fraksjonene 4.0-8.0, 8.0-11.2 og 11.2-16.0 mm, med en prøvemengde på ca. 29 kg.

Dette skyldes trolig at spalteåpningen hadde blitt noe større, sannsynligvis pga. slitasje av tyggeplatene. En kan derfor ikke utelukke at de aller minste testprøvene er blitt knust under dårligere forhold enn de største. Dette understreker at det er uhyre viktig med kontroll av knuseproduktet og apparaturen. Knuseren ble smurt før knuseforsøket tok til. I ettertid smøres knuseren før hver eneste knusing. Figur 5.1 viser produsert materiale i fraksjonene 8.0-11.2 og 11.2-16.0 mm for knusinger før, under og etter knuseforsøket.



Figur 5.1 Produsert materiale for to fraksjoner ved knusinger før, under og etter knuseforsøket

Fallprøveresultatene viser god sammenheng med knuseresultatene (figur 4.6). Flisighetstallet er lavest for den største prøven, og høyest for den minste. Det betyr at spalteåpningen ikke har vært tilpasset den minste prøvemengden. Kornformen (flisigheten) kan forbedres ved optimalisering av knuseprosessen.

Omslagsverdiene blir markert bedre for alle prøvene (figur 4.8 og 4.9). De minste endringene i flisighetstall skjer for prøve 25 og 30 kg. Dette bekrefter resultatene med at en har tilnærmet optimal knusing for disse to prøvemengdene. Omslagsverdiene for flisighet er likevel ikke entydige. Prøven med 25 kg viser en dårligere kornform enn de andre prøvene. Flisighetstallene er framkommet ved manuell sikting på stavsikt. Flere forhold virker inn på sikteresultatet, se kapittel 6. For eksempel er kornformen (flisigheten) en snittverdi fra tre paralleller, mens det for omslag bare er en prøve (samlet fra de samme tre parallellene).

Sprøhetstallene ( $s_8$ ) samsvarer med flisighetstallene. Det er korrigert for pakningsgrad for alle prøvemengdene. Prøven på 5 kg ble korrigert for pakningsgrad 2, mens de øvrige for pakningsgrad 1. De tre største prøvene var ikke like hardt pakket som prøvene med 10 og 15 kg, og burde ikke ha lik pakningsgrad. Dette gir seg utslag i at sprøhetstallene kan være for

høye. For omslagsverdiene er det bare korrigert for pakningsgrad for prøven på 15 kg. Det forklarer at dette sprøhetstallet er dårligere enn for 10 kg, hvor det ikke er foretatt korrigerings.

Når en sammenstiller fallprøveresultatene mot avvik fra optimal knusing og mot kumulativ prosentfordeling ser en de samme trendene (figur 4.10-4.13). Med økende kumulativ prosentfordeling avtar flisighets- og sprøhetstallet samtidig som prøvemengden øker. Med økende avvik fra optimal knusing blir fallprøveresultatene dårligere og prøvemengden mindre. Dette tyder på en klar sammenheng mellom knuse- og fallprøveresultatet.

Håndstykketørrelsen på steinene har ikke vært lik innen en prøve. Disse variasjonene er forsøkt fordelt likt for hver prøvemengde. Likevel unngår man ikke forskjeller. Det ser ikke ut til at prøver med innhold av spesielt store håndstykker (gruppe I) gir knuse- eller fallprøveresultater som utmerker seg særskilt, men det kan synes som om prøver med høyest andel gir dårligst sprøhetstall og omvendt. Sprøhetstallene for 5 og 20 kg prøve er høye. Det kan skyldes mikrosprekker, men variasjonene mellom prøvemengdene er for liten til at dette er en årsak alene.

Tallene som karakteriserer håndstykketørrelsen i figur 3.1 viser at 20, 5 og 25 kg prøve gir høyest verdi. Ser en på figurene med fallprøveresultater mot avvik fra optimal knusing og mot kumulativ prosentfordeling (figur 4.10-4.13), ligger disse tre prøvestørrelsene konsekvent over regresjonslinjene, mens de med lavest verdi ligger under.

For innholdet av middels store håndstykker (gruppe II) gir prøvene med den høyeste andelen de beste fallprøveresultatene. Dette gjelder for prøvene på 15, 25 og 30 kg.

Det kan ikke på grunnlag av dette spinkle materialet trekkes klare konklusjoner. Det bør derfor utføres ytterligere tilsvarende forsøk med ulike bergarter, med større prøvemengder og ved å justere utløpsåpningen til laboratorieknuseren. Da først kan en klarlegge forholdet mellom prøvemengde, utløpsåpning og fallprøvetest. I tillegg bør det også utføres forsøk som viser om håndstykketørrelsen eventuelt har innvirkning på knuse- og fallprøveresultatet.

## 6 SVAKHETER OG FEILKILDER VED UNDERSØKELSEN

Det er en del punkter som bør nevnes i forbindelse med forsøket. Den største svakheten er at bare et testmateriale er brukt og at bare en serie er utført. Det burde helt klart vært lagt mer materiale til grunn før klare konklusjoner kan trekkes. Likevel må resultatene som er framkommet vurderes.

Fallprøven har alltid vært gjenstand for diskusjon. Prøvematerialet oppnådde forskjellig pakningsgrad, og til dels var spredningen på parallellene stor. Ved høy pakningsgrad vil man trolig få for lave sprøhetstall fordi det øverste knuste materialet fungerer som en demper på videre nedknusing på materialet nedover i morteren. Flisighetstallet kan ved flere prøver ha blitt feil pga. ulike faktorer. Kornformen (flisigheten) er en snittverdi fra tre paralleller. Det benyttes stavsikt med manuell sikting. Et objektivt sikteresultat er vanskelig å oppnå ved denne prosedyren. Steinkornene kolliderer og er i veien for hverandre, og treffer ikke alltid vinkelrett på sikteåpningen. Steinkornene har dessuten vist seg å vende største tverrsnittsareal mot åpningene. Slitte sikter eller sikter som er blitt bulket ved brutal behandling, ved f.eks. at fastkilede steiner er blitt banket løs med "rå makt", vil innvirke på sikteresultatet. Stavsiktene som er benyttet ved forsøket bærer preg av å være utsatt for litt tøff behandling. Tiden siktingen pågår og siktebevegelsene kan heller ikke utelukke ulik behandling av materialet. Siktingen burde kanskje ha foregått maskinelt for å unngå personavhengige feil.

Knuseren ble ikke smurt mellom hver knusing, og at spalteåpningen har endret seg under forsøket, er opplagt en uheldig faktor. Det skal bare en liten endring til før knuseresultatet forandres og da også kvaliteten på produktet.

Utførelsen av knusingen ble foretatt av to forskjellige personer, hvor den ene knuste ned de to største prøvene. Hvorvidt dette har innvirket på resultatene vites ikke, men muligheten for ulik matning av knuseren er til stede.



## **7 FORSLAG TIL FORBEDRINGER RUNDT KNUSEPROSESSEN OG VIDERE ARBEID**

En bør som et ledd i kvalitetssikringen utføre jevn kontroll av knuseapparatet. Ved NGU blir knuseren nå smurt mellom hver knusing, selv om f.eks. to prøver blir knust samme dag. Videre utføres sikteanalyse for hver knusing. Det medfører at en får en kontroll på om knuseren produserer mest materiale i den fraksjonen en skal utføre fallprøvetest på. En slik kontroll kan også avsløre f.eks. om endringer på spalteåpning, om lager eller mellomleggsplate er defekt eller ute av stilling. Dette er det svært vanskelig å oppdage ellers. I tillegg bør det føres journal med opplysninger om vedlikehold og alle endringer som observeres. Det er svært viktig at alle forhold ved knusing av prøver er sporbare for ettertiden.

For å luke ut eventuelle personavhengige feil som kan oppstå under selve matingen av knusekammeret ved andre gangs knusing, kunne en forsøke å utvikle et doseringssystem som både letter utførelsen (tunge løft) for utøveren og kvalitetssikrer knuseproduktet.

Ved lignende arbeid bør det utføres flere paralleller for bedre dokumentasjon. Flere ulike bergarter bør også trekkes inn. En bør også prøve å samle inn nok materiale for å kunne utvide prøvemengdene til f.eks. 35, 40, 45 og 50 kg. På denne måten blir knuseforløpet mer likt produksjonsknust materiale ved at man får et lengre knuseintervall.

En bør også undersøke og dokumentere om håndstykke størrelsene innvirker på knuse- og fallprøveresultatet. Dette tenkes utført ved at jevnstore håndstykke størrelser benyttes i en testserie, og en blanding av håndstykke størrelser i en annen. Det kan også være av interesse å undersøke flere ulike håndstykke størrelser opp mot hverandre for å se om bestemte håndstykke størrelser forårsaker bedre knuseresultat enn andre.

## 8 LITTERATUR

Bjørnum, Knut 1981: Knusemetodens innvirkning på produktets kvalitet. *Innlegg på konferansen Steinmaterialer 1981. Svedala Arbrå A/S Oslo.*

Erichsen, Eyolf 1992: Knuseprosedyrens innvirkning på fallprøven. Delrapport 1. *NGU Rapport 92.289*

Digre, M., Krogh, S. og Sandvik, K.L. 1978: Grunnkurs i oppredning. Kompendium. NTH.

Erichsen, Eyolf 1993: Prøving av steinmaterialer. *Konferansen "Stein i vei" 4. og 5. februar 1993.*

Grønhaug, A. 1964: Steinmaterialers brukbarhet til vegbygging. Prøvning og bedømmelse. *Statens vegvesen. Meddelelse nr. 19.*

Holt, Erling 1993: Vurdering av kulemøllemetoden, fallprøven og abrasjonsmetoden for laboratorieknust og produksjonsknust steinmateriale. *Hovedoppgave ved Institutt for geologi og bergteknikk, NTH*

Höboda, Peet 1966: Erfarenheter av hållfasthets- och kornformsbestämningar för stenmaterial til vägändamål. *Statens väginstitut. spesialrapport 41.*

Krogseth, Arve 1993: Knuseverkstyper og knusemetodens innvirkning på sluttproduktet. *Prosjektoppgave, Institutt for geologi og bergteknikk, NTH*

Selmer-Olsen R. 1949: Prøving av steinmaterialer til vegdekker. *Meddelelser fra Vegdirektøren, nr. 12, side 187-194.*

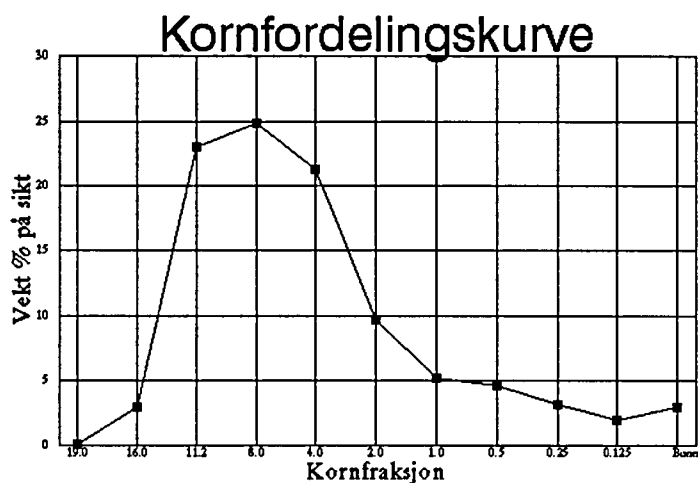
Institutt for bygg og anleggsteknikk, NTH: Knusing av stein til anleggsformål. *Prosjektrapport 18-1992.*

Statens vegvesen 1983: Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser. 2. utgave.

Norges geologiske undersøkelse

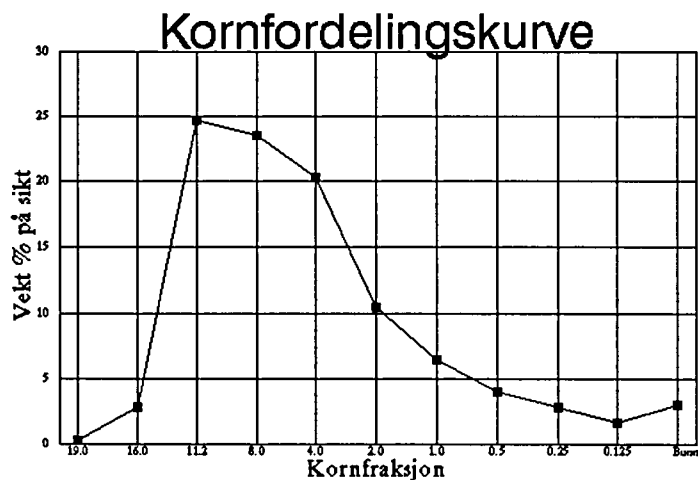
Sted: Vassfjellet 30 kg  
 Lab.nr.: 942016 Dato: 17. jan  
 Max.spaltåpning: 10 NGU Aker

Fraksjon	Vekt gr.	Vekt %	Kum.ford.
19.0	43.9	0.1	99.9
16.0	885.9	3.0	96.9
11.2	6816.4	23.0	73.8
8.0	7356.5	24.9	48.9
4.0	6297.5	21.3	27.6
2.0	2862.4	9.7	18.0
1.0	1552.6	5.2	12.7
0.5	1374.4	4.6	8.1
0.25	928.3	3.1	4.9
0.125	582.5	2.0	3.0
Bunn	873.7	3.0	0.0
SUM	29574	100	



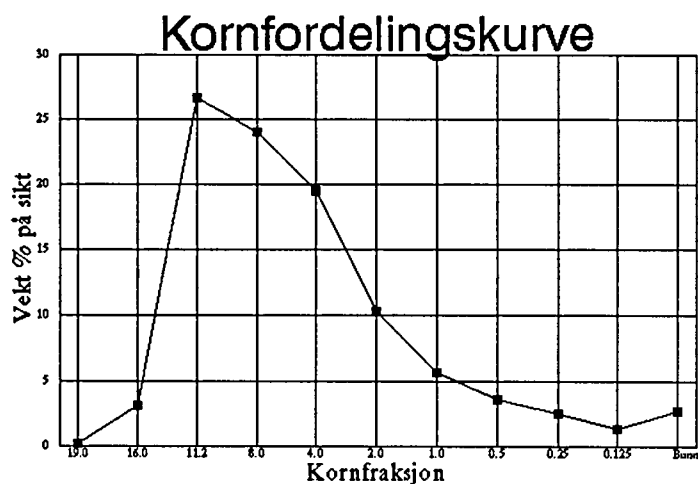
Sted: Vassfjellet 25 kg  
 Lab.nr.: 942015 Dato: 17. jan  
 Max.spaltåpning: 10 NGU Aker

Fraksjon	Vekt gr.	Vekt %	Kum.ford.
19.0	62.9	0.3	99.7
16.0	682.0	2.8	97.0
11.2	6085.3	24.7	72.3
8.0	5814.3	23.6	48.7
4.0	5013.9	20.3	28.4
2.0	2575.7	10.5	17.9
1.0	1582.1	6.4	11.5
0.5	975.2	4.0	7.5
0.25	698.4	2.8	4.7
0.125	407.1	1.7	3.0
Bunn	750.6	3.0	-0.0
SUM	24647.5	100	



Sted: Vassfjellet 20 kg  
 Lab.nr.: 942014 Dato: 17. jan  
 Max.spaltåpning: 10 NGU Aker

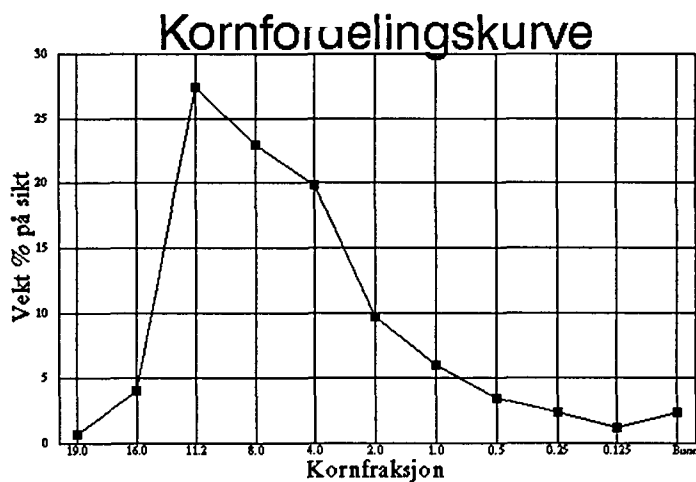
Fraksjon	Vekt gr.	Vekt %	Kum.ford.
19.0	35.5	0.2	99.8
16.0	624.4	3.2	96.6
11.2	5249.9	26.7	70.0
8.0	4723.8	24.0	45.9
4.0	3834.1	19.5	26.5
2.0	2032.3	10.3	16.1
1.0	1124.9	5.7	10.4
0.5	714	3.6	6.8
0.25	515.9	2.6	4.2
0.125	281.1	1.4	2.7
Bunn	537.4	2.7	0.0
SUM	19673	100	



Norges geologiske undersøkelse

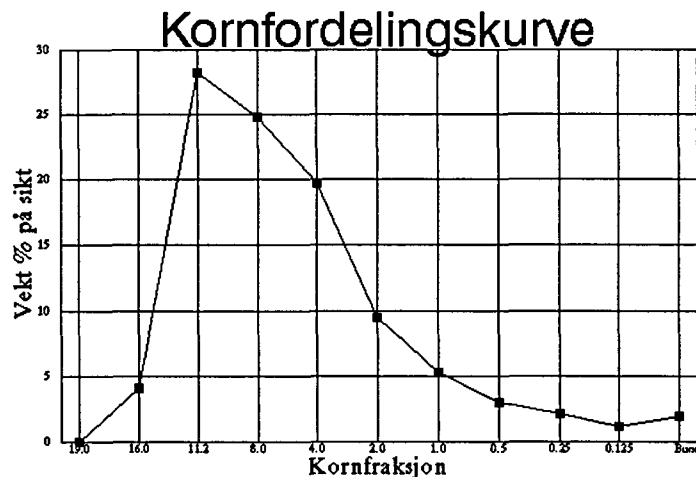
Sted: Vassfjellet 15 kg  
 Lab.nr.: 942013 Dato: 17. jan  
 Max.spaltåpning: 10 NGU Aker

Fraksjon	Vekt gr.	Vekt %	Kum.ford.
19.0	98.8	0.7	99.3
16.0	589.1	4.0	95.4
11.2	4059.2	27.4	67.9
8.0	3391.5	22.9	45.0
4.0	2931.7	19.8	25.2
2.0	1439.8	9.7	15.5
1.0	879.6	5.9	9.5
0.5	513.8	3.5	6.0
0.25	356.1	2.4	3.6
0.125	182.6	1.2	2.4
Bunn	355.9	2.4	-0.0
SUM	14798.1	100	



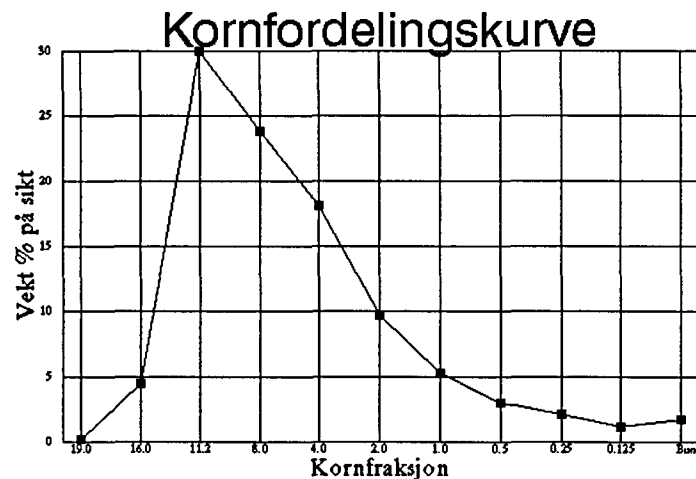
Sted: Vassfjellet 10 kg  
 Lab.nr.: 942012 Dato: 17. jan  
 Max.spaltåpning: 10 NGU Aker

Fraksjon	Vekt gr.	Vekt %	Kum.ford.
19.0	0	0.0	100.0
16.0	399.6	4.1	95.9
11.2	2779.3	28.3	67.6
8.0	2440.1	24.8	42.8
4.0	1936.5	19.7	23.1
2.0	934.4	9.5	13.6
1.0	519.1	5.3	8.3
0.5	297.3	3.0	5.2
0.25	209.7	2.1	3.1
0.125	112.5	1.1	2.0
Bunn	192.7	2.0	-0.0
SUM	9821.2	100	



Sted: Vassfjellet 5 kg  
 Lab.nr.: 942011 Dato: 17. jan  
 Max.spaltåpning: 10 NGU Aker

Fraksjon	Vekt gr.	Vekt %	Kum.ford.
19.0	10.5	0.2	99.8
16.0	224.1	4.6	95.2
11.2	1471.6	30.0	65.3
8.0	1169.8	23.8	41.5
4.0	893.6	18.2	23.3
2.0	476.1	9.7	13.6
1.0	262.8	5.3	8.2
0.5	152.3	3.1	5.1
0.25	106.3	2.2	3.0
0.125	57.1	1.2	1.8
Bunn	88.5	1.8	-0.0
SUM	4912.7	100	



# Mekaniske egenskaper

## Sprøhet / flisighet

Vassfjellet 30 kg

Lab.prøve nr.: 942016

KOMMUNE :  
KARTBLADNR. :  
FOREKOMSTNR.:

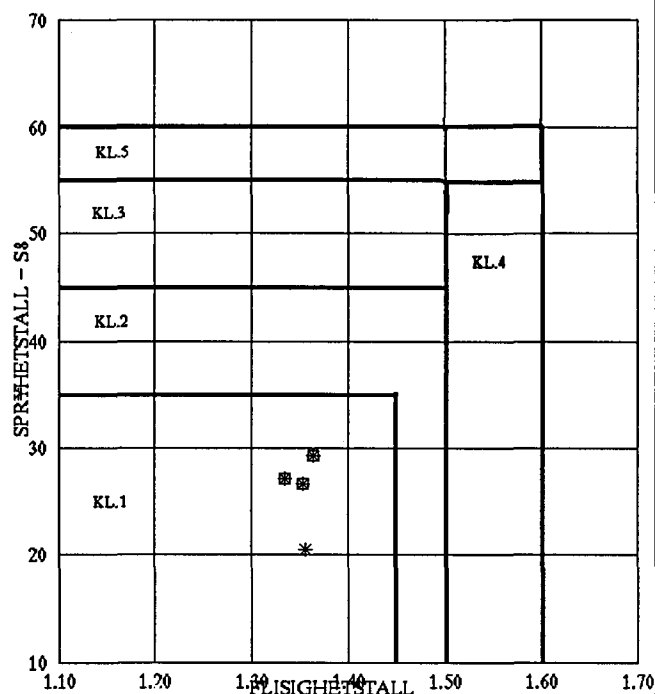
KOORDINATER :  
DYBDE I METER:  
UTTATT DATO :  
SIGN. :

## Visuell kvalitetsklassifisering :

Antall korn vurdert stk.	Meget sterke %	Sterke %	Svake %	Meget svake %
-----------------------------	-------------------	-------------	------------	------------------

## Mekaniske egenskaper :

Kornstørrelse mm	8 – 11,2				11,2 – 16	
Tegnforklaring	o	o	o	*	+	+
Flisighetstall-f	1.33	1.36	1.35	1.36		
Ukorr. Sprøhetstall-S0	25.8	27.8	25.4	20.5		
Pakningsgrad	1	1	1	0		
Sprøhetstall-S8	27.1	29.2	26.7	20.5		
Materiale < 2mm-S2	4.8	5.2	4.6	4.2		
Laboratoriepukket %	100					
Merket * : slått 2 ganger (omslagsverdi)						
Middel f/S8	1.35	/	27.7			
Abrasjonsverdi-a:	-	-	-		Middel	
Slitasjemotstand: (a * rot S8) = 0.00						
Densitet:	3.06		Humus:			



## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

## Reaksjon med HCL:

## MINERALOGI TIL MATERIALE &lt; 2 mm:

Sted:  
Trondheim

Dato:  
16.02.94

Sign.:  
A. uvik

# Mekaniske egenskaper

## Sprøhet / flisighet

Vassfjellet 25 kg

Lab.prøve nr.: 942015

KOMMUNE :  
KARTBLADNR. :  
FOREKOMSTNR.:

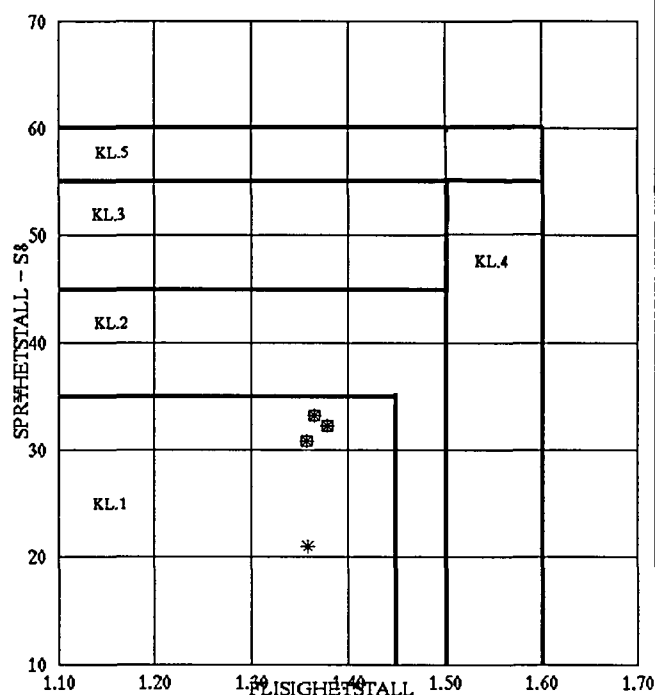
KOORDINATER :  
DYBDE I METER:  
UTTATT DATO :  
SIGN. :

## Visuell kvalitetsklassifisering :

Antall korn vurdert stk.	Meget sterke %	Sterke %	Svake %	Meget svake %
--------------------------	----------------	----------	---------	---------------

## Mekaniske egenskaper :

Kornstørrelse mm	8 – 11,2				11,2 – 16	
Tegnforklaring	o	o	o	*	+	+
Flisighetstall-f	1.38	1.37	1.36	1.36		
Ukorr. Sprøhetstall-S0	30.8	31.7	29.4	21.0		
Pakningsgrad	1	1	1	0		
Sprøhetstall-S8	32.3	33.3	30.9	21.0		
Materiale < 2mm-S2	5.6	4.9	5.1	4.4		
Laboratoriepukket %	100					
Merket * : slått 2 ganger (omslagsverdi)						
Middel f/S8	1.37	/	32.2			
Abrasjonsverdi-a:	-	-	-		Middel	
Slitasjemotstand: (a * rot S8) = 0.00						
Densitet:	3.06		Humus:			



## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

## Reaksjon med HCL:

## MINERALOGI TIL MATERIALE &lt; 2 mm:

Sted:  
Trondheim

Dato:  
16.02.94

Sign.:  
A. Uvik

# Mekaniske egenskaper

## Sprøhet / flisighet

Vassfjellet 20 kg

Lab.prøve nr.: 942014

KOMMUNE :  
KARTBLADNR. :  
FOREKOMSTNR.:

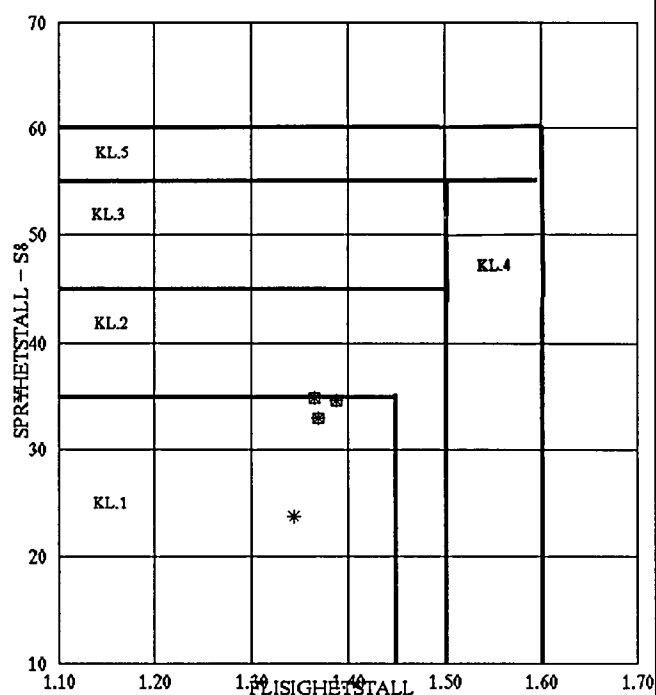
KOORDINATER :  
DYBDE I METER:  
UTTATT DATO :  
SIGN. :

## Visuell kvalitetsklassifisering :

Antall korn vurdert stk.	Meget sterke %	Sterke %	Svake %	Meget svake %

## Mekaniske egenskaper :

Kornstørrelse mm	8 – 11,2				11,2 – 16	
Tegnforklaring	o	o	o	*	+	+
Flisighetstall–f	1.37	1.37	1.39	1.34		
Ukorr. Sprøhetstall–S0	33.3	31.4	33.0	23.7		
Pakningsgrad	1	1	1	0		
Sprøhetstall–S8	34.9	33.0	34.7	23.7		
Materiale < 2mm–S2	5.0	4.9	5.1	4.2		
Laboratoriepuddet %	100					
Merket * : slått 2 ganger (omslagsverdi)						
Middel f/S8	1.38	/	34.2			
Abrasjonsverdi–a:	-	-	-		Middel	
Slitasjemotstand: (a * rot S8) = 0.00						
Densitet:	3.06		Humus:			



## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

## Reaksjon med HCL:

## MINERALOGI TIL MATERIALE &lt; 2 mm:

Sted:  
Trondheim

Dato:  
16.02.94

Sign.:  
A. Uwik

# Mekaniske egenskaper

## Sprøhet / flisighet

Vassfjellet 15 kg

Lab.prøve nr.: 942013

KOMMUNE :  
KARTBLADNR. :  
FOREKOMSTNR.:

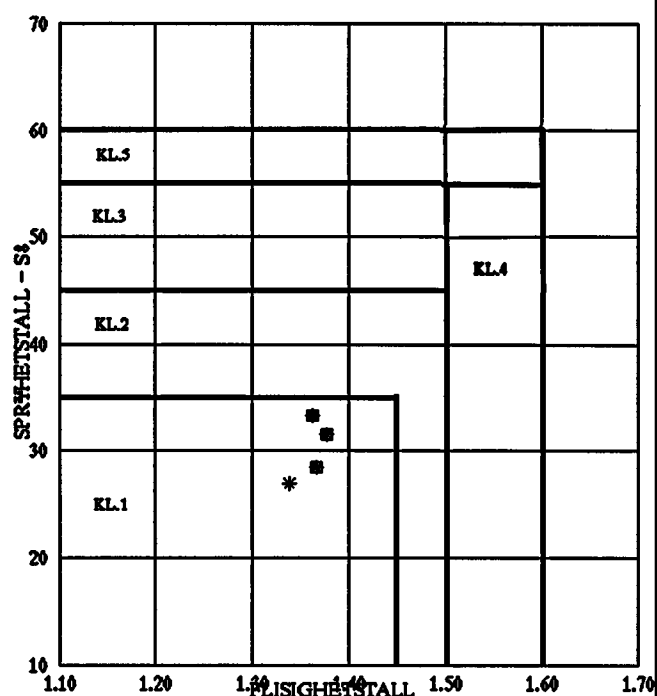
KOORDINATER :  
DYBDE I METER:  
UTTATT DATO :  
SIGN. :

## Visuell kvalitetsklassifisering :

Antall korn vurdert stk.	Meget sterke %	Sterke %	Svake %	Meget svake %

## Mekaniske egenskaper :

Kornstørrelse mm	8 – 11,2				11,2 – 16	
Tegnforklaring	o	o	o	*	+	+
Flisighetstall–f	1.37	1.38	1.36	1.34		
Ukorr. Sprøhetstall–S0	27.1	30.1	31.7	25.6		
Pakningsgrad	1	1	1	1		
Sprøhetstall–S8	28.5	31.6	33.3	26.8		
Materiale < 2mm–S2	4.5	4.9	5.3	4.5		
Laboratoriepukket %	100					
Merket * : slått 2 ganger (omslagsverdi)						
Middel f/S8	1.37	/	31.1			
Abrasjonsverdi–a:	-	-	-		Middel	
Slitasjemotstand: (a * rot S8) = 0.00						
Densitet:	3.06		Humus:			



## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

## Reaksjon med HCL:

## MINERALOGI TIL MATERIALE &lt; 2 mm:

Sted:  
Trondheim

Dato:  
16.02.94

Sign.:  
A. uvik



# Mekaniske egenskaper

## Sprøhet / flisighet

Vassfjellet 10 kg

Lab.prøve nr.: 942012

KOMMUNE :  
KARTBLADNR. :  
FOREKOMSTNR.:

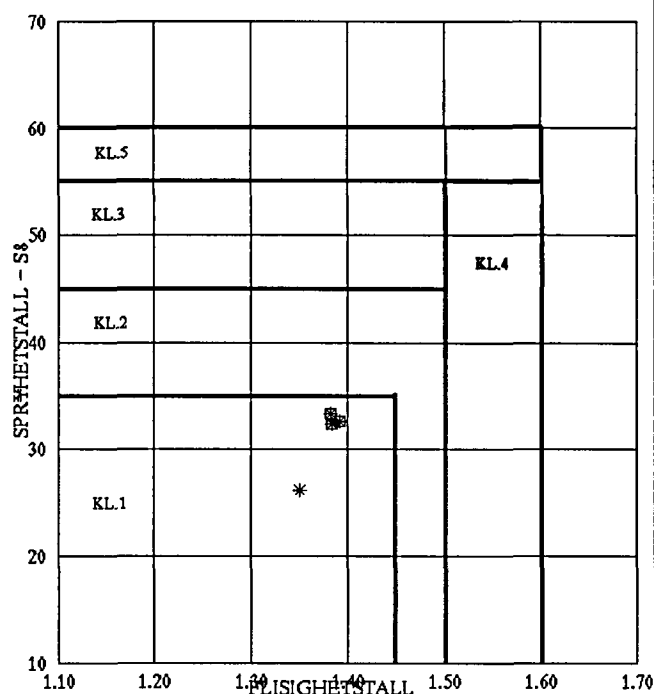
KOORDINATER :  
DYBDE I METER:  
UTTATT DATO :  
SIGN. :

## Visuell kvalitetsklassifisering :

Antall korn vurdert stk.	Meget sterke %	Sterke %	Svake %	Meget svake %
-----------------------------	-------------------	-------------	------------	------------------

## Mekaniske egenskaper :

Kornstørrelse mm	8 – 11,2				11,2 – 16	
Tegnforklaring	o	o	o	*	+	+
Flisighetstall-f	1.38	1.39	1.38	1.35		
Ukorr. Sprøhetstall-S0	30.9	31.1	31.7	26.2		
Pakningsgrad	1	1	1	0		
Sprøhetstall-S8	32.4	32.6	33.3	26.2		
Materiale < 2mm-S2	4.9	5.2	5.6	4.4		
Laboratoriepukket %	100					
Merket * : slått 2 ganger (omslagsverdi)						
Middel f/S8	1.38	/	32.8			
Abrasjonsverdi-a:	-	-	-		Middel	
Slitasjemotstand: (a * rot S8) = 0.00						
Densitet:	3.06		Humus:			



## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

## Reaksjon med HCL:

## MINERALOGI TIL MATERIALE &lt; 2 mm:

Sted:  
Trondheim

Dato:  
16.02.94

Sign.:  
A. Uwik

# Mekaniske egenskaper

## Sprøhet / flisighet

Vassfjellet 5 kg

Lab.prøve nr.: 942011

KOMMUNE :  
KARTBLADNR. :  
FOREKOMSTNR.:

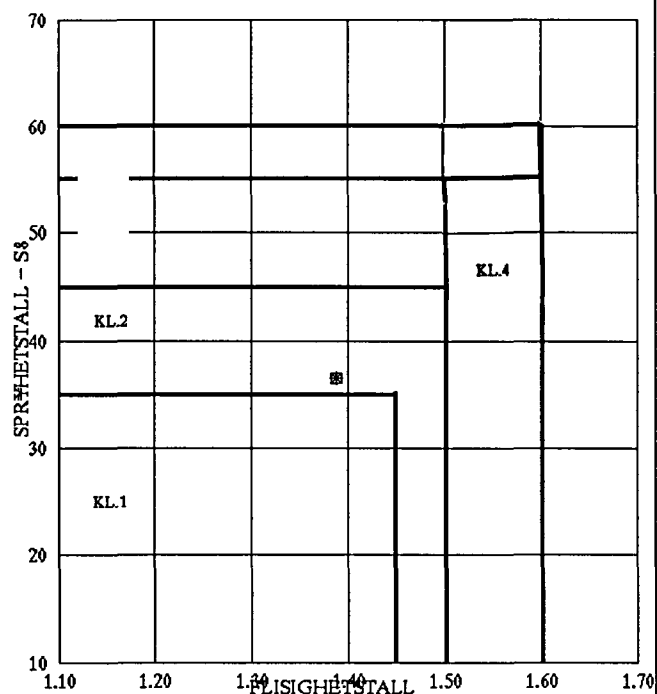
KOORDINATER :  
DYBDE I METER:  
UTTATT DATO :  
SIGN. :

## Visuell kvalitetsklassifikasjon :

Antall korn vurdert stk.	Meget sterke %	Sterke %	Svake %	Meget svake %

## Mekaniske egenskaper :

Kornstørrelse mm	8 – 11,2				11,2 – 16	
Tegnforklaring	o	o	o	*	+	+
Flisighetstall-f	1.39					
Ukorr. Sprøhetstall-S0	33.2					
Pakningsgrad	2					
Sprøhetstall-S8	36.5					
Materiale < 2mm-S2	5.6					
Laboratoriepukket %	100					
Merket * : slått 2 ganger (omslagsverdi)						
Middel f/S8	1.39	/	36.5			
Abrasjonsverdi-a:	-	-	-		Middel	
Slitasjemotstand: (a * rot S8) = 0.00						
Densitet:	3.06		Humus:			



## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

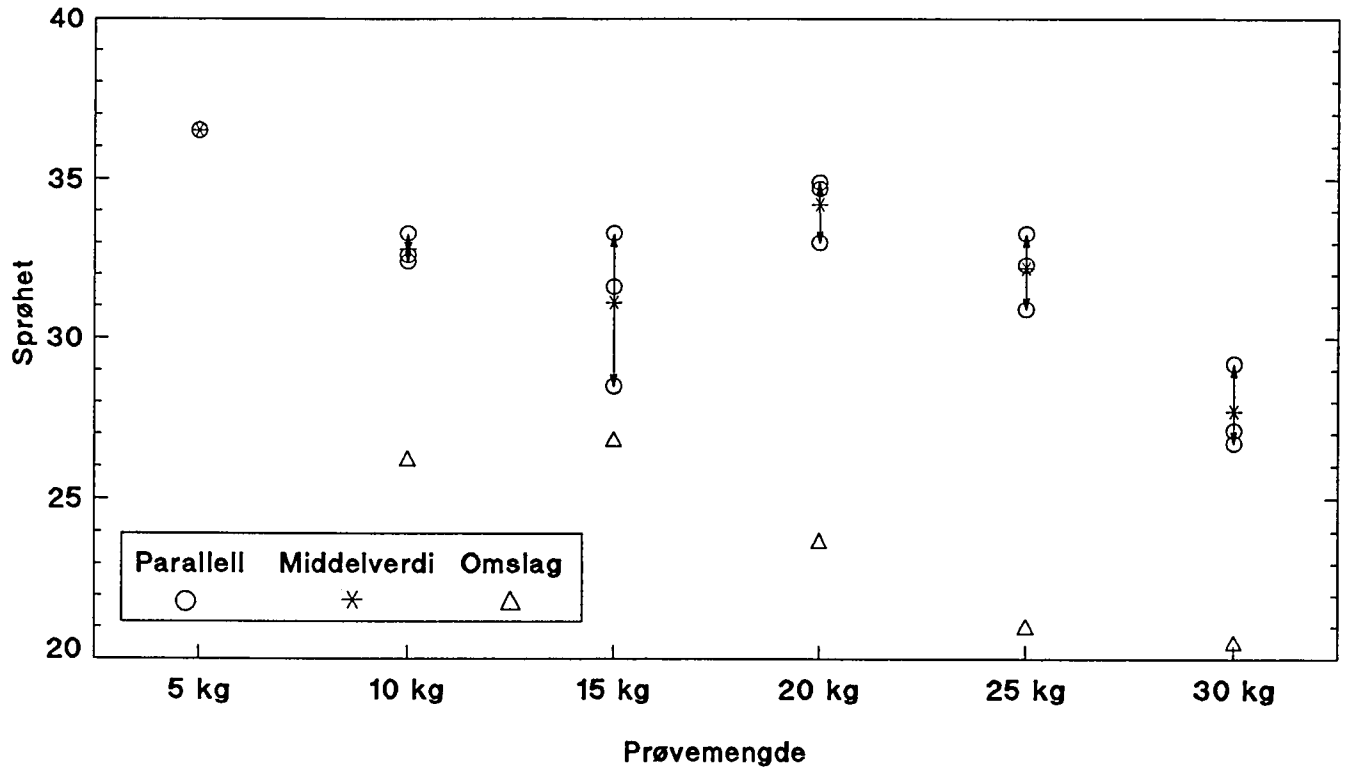
## Reaksjon med HCL:

## MINERALOGI TIL MATERIALE &lt; 2 mm:

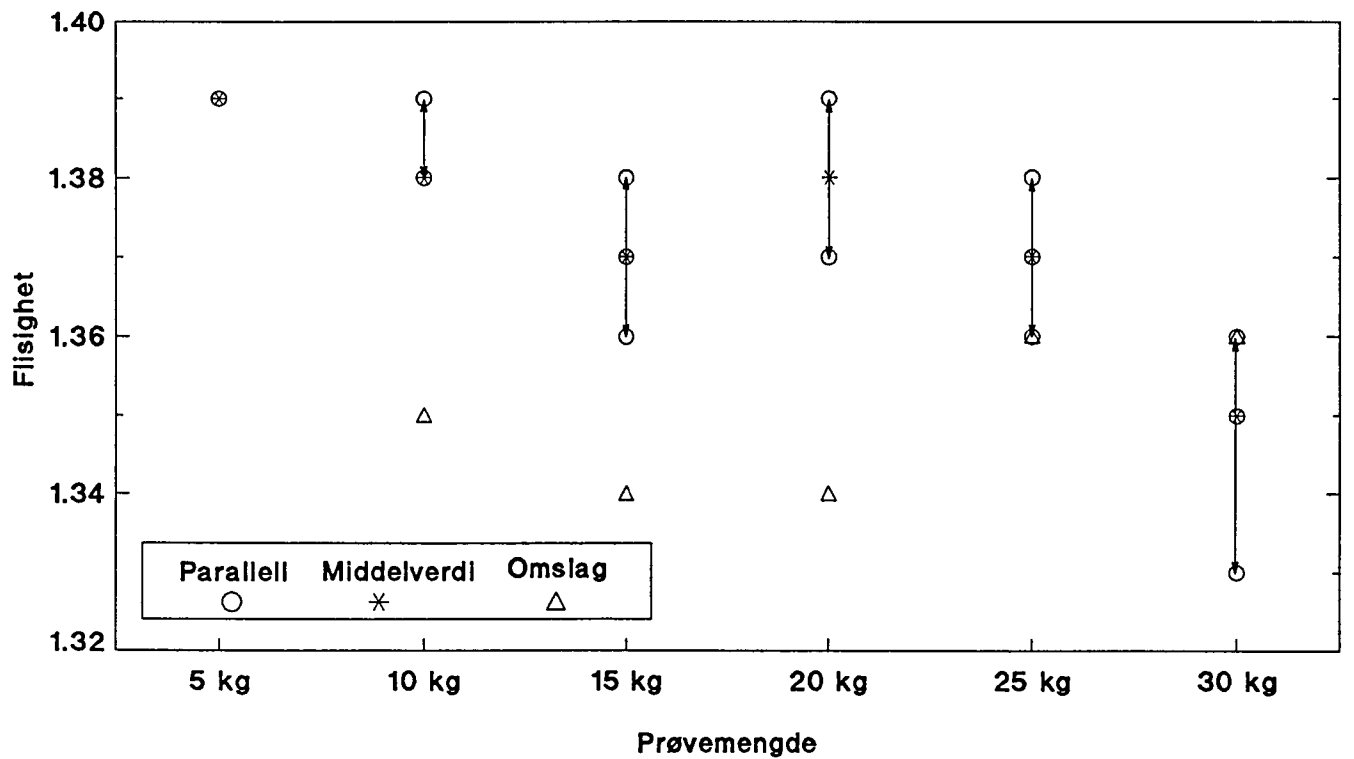
Sted:  
Trondheim

Dato:  
16.02.94

Sign.:  
A. Ulvik



Figur A. Sammenhengen mellom prøvemengde og sprøhet.



Figur B. Sammenhengen mellom prøvemengde og flisighet.