

RAPPORT

SNØENS SIGETRYKK MOT KONSTRUKSJONER
I BRATT TERRENG

av
Jan Otto Larsen

75420/58110-1

11. JUNI 1982



FORORD

FORSKNINGSRESULTATENE FREMLAGT I FORELIGGENDE RAPPORT ER GJORT MULIG VED BEVILGNINGER FRA NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD (NTNF) OG NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN. DENNE STØTTEN ERKJENNES MED TAKK.

RAPPORTEN BESKRIVER EN DEL AV DEN FORSKNING SOM PAGAR INNEN FELTET "SNØMEKANIKK OG SNØSKREDTEKNIKK" SOM ER FORSKNINGSFELT NR. 4 I NGI'S LANGTIDSPLAN FOR PERIODEN 1982-1986, (FELT 4, PROGRAM 4.3).

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT


KAARE HØEG

Norges geotekniske institutt NGI

Postadresse:
Postboks 40 Tåsen
Oslo 8

Vareadresse:
Sognsveien 72

Telegramadresse:
GEOTEKNIKK

Telefon:
(02) 23 03 88

Telex:
19787 ngi n

RAPPORT

SNØENS SIGETRYKK MOT KONSTRUKSJONER I BRATT TERRENG

av
Jan Otto Larsen

75420/58110-1

11. JUNI 1982



INNLEDNING

I 1975 påbegynte Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen og Norges Geotekniske Institutt et samarbeidsprosjekt for å finne fram til retningslinjer for dimensjonering av mastekonstruksjoner mot snøsigkrefter. Grasdalen på Strynefjellet ble valgt som forsøkssted idet NGI allerede hadde etablert sin forskningsstasjon på dette stedet, og fordi det kunne påregnes et klima som ville gi de rette forsøksbetingelser.



Foto 1 : Forsøksområdet i Grasdalen på Strynefjellet.

Norges geotekniske institutt NGI

Postadresse:
Postboks 40 Tåsen
Oslo 8

Vareadresse:
Sognsveien 72

Telegramadresse:
GEOTEKNIKK

Telefon:
(02) 23 03 88

Telex:
19787 ngi n

SUMMARY

In the period 1975 - 1981 the Norwegian Water Resources and Electricity Board and the Norwegian Geotechnical Institute cooperated on a project regarding snow creep against structures placed in hillsides. On a 25° steep slope we measured the forces acting in the centre section of a 15 m long retaining structure. Our measurement methods consist of two techniques: (1) direct estimates from earth pressure cells placed near centre of the structure and (2) construction of force, shear and moment diagrams from strains measured by vibrating wire strain gauges on the steel beams and supporters of the structure.

We have related the snow pressures to snow depth, density, temperature, rammsonde hardness and snow crystal stratigraphy.

During the project period, the seasonal snow depth has varied a lot, and only three of the six research seasons had sufficient snow to give suitable data.

In general, the snow pressure on the structure increased throughout the winter, and the maximum value was reached just before the snow cover reached an isothermal condition. The maximum snowpressure and resultant force appear to be located near the mid-height of the retaining structure.

To explain the relationship between the snowpressure and the snow parameters we introduce the following two indices:

1. Body-force index = the product of density times snow depth
2. Snowpack stiffness index = the total energy to drive a rammsonde through the snowpack.

As conclusions we have:

1. The average snow pressure against the structure seems to increase slightly faster than linearly with the Body-force index.
2. It seems to be a linear correlation between the average pressure and the Snowpack stiffness index.
3. The maximum pressure appears to be a function of both the Body-force index and the Snowpack stiffness index.
4. The maximum value of maximum pressure usually occurs simultaneously with maximum of the Body-force index and before warm temperatures and melting decrease the Snowpack stiffness index.

For practical estimation of average pressure we recommend calculations based on McClung's (1980) theories using linear viscous modelling for the snow deformation. The maximum pressures proved to be on the order of 25% higher than the maximum pressure for a linear model.

RAPPORT

SNØENS SIGETRYKK MOT KONSTRUKSJONER
I BRATT TERRENG

av
Jan Otto Larsen

75420/58110-1

11. JUNI 1982



INNLEDNING

I 1975 påbegynte Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen og Norges Geotekniske Institutt et samarbeidsprosjekt for å finne fram til retningslinjer for dimensjonering av mastekonstruksjoner mot snø-
sigkrefter. Grasdalen på Strynefjellet ble valgt som forsøkssted idet
NGI allerede hadde etablert sin forskningsstasjon på dette stedet, og
fordi det kunne påregnes et klima som ville gi de rette forsøksbetingelser.

Foto 1 : Forsøksområdet i Grasdalen på Strynefjellet.

Norges geotekniske institutt NGI

Postadresse:
Postboks 40 Tåsen
Oslo 8

Vareadresse:
Sognsveien 72

Telegramadresse:
GEOTEKNIKK

Telefon:
(02) 23 03 88

Telex:
19787 ngi n

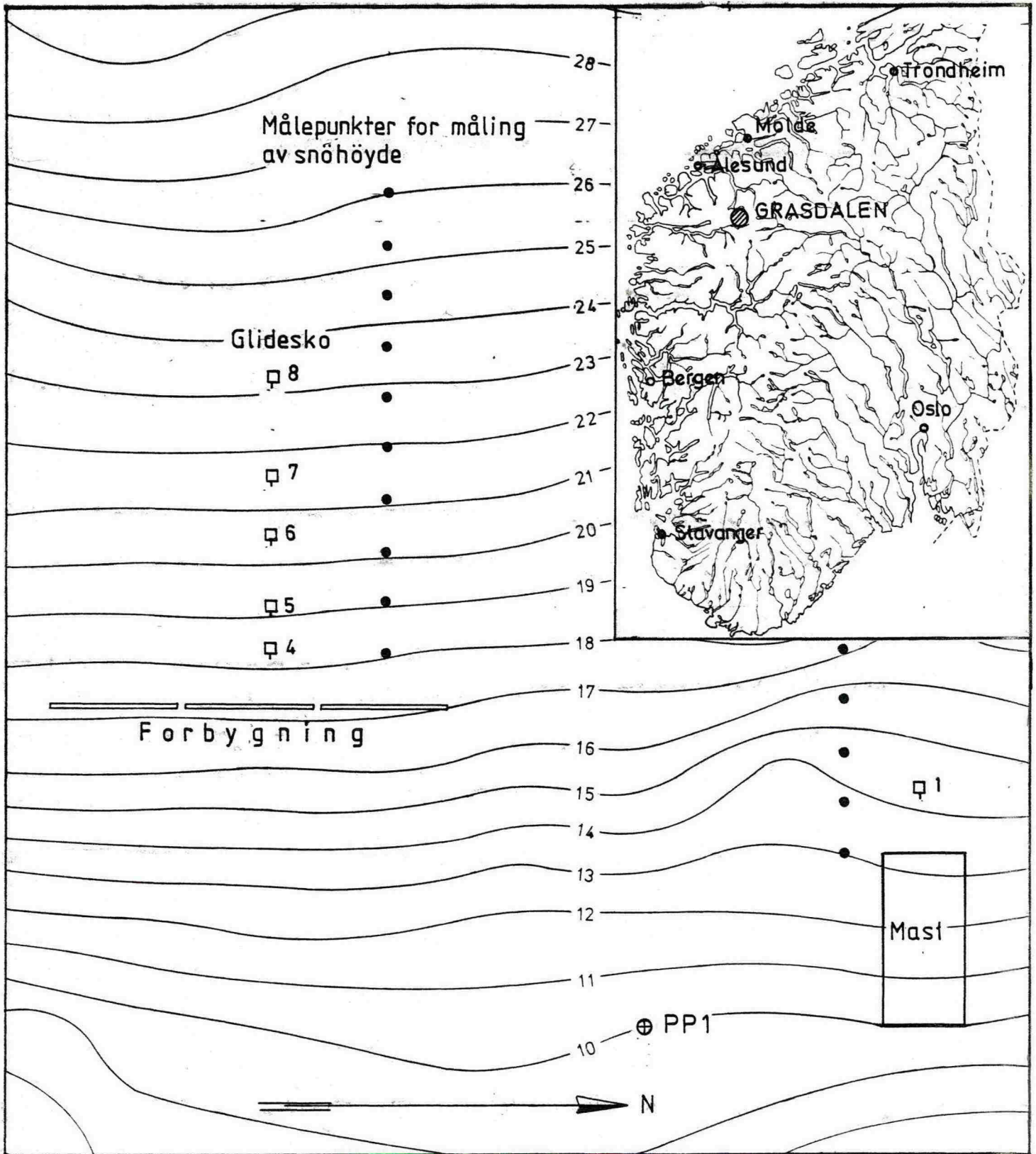


Fig. 001 : Kart over måleområdet.

M = 1 : 200 Oversikt: M = 1 : 2 mill.

Prosjektet omfattet måling av snøsigkrefter i tre separate konstruksjoner (en mast, et rør og en forbygning) plassert i 25° bratt terreng (foto 1 og fig. 001).

Tidsrommet for forsøkene ble ikke fastsatt, men vi antok i utgangspunktet at prosjektet ville ta minst 4 - 5 år. Det viste seg at det skulle gå lenger tid før vi fikk gode måledata på grunn av flere vintre med beskjedne snømengder. Prosjektet ble derfor ført videre sist vinter 1981 -82, som er sjuende år på rad.

Forbygningen er pr. idag den konstruksjon der vi har best måledata og som lettest lar seg analysere. Denne rapporten vil derfor begrense seg til en analyse av snøsigkrefter mot denne konstruksjon basert på 3 av 5 vintres innsamlede opplysninger.

NVE, Statskraftverkene, har reist konstruksjonene, finansiert måleinstrumenter og deltatt finansielt i drift av prosjektet og behandling av data.

NGIs skredgruppe har utført feltmålingene i Grasdalen. Spesielt har K. Kristensen ved forskningsstasjonen gjort en stor innsats ved innsamling av feltdata.

NGIs måletekniske gruppe har stått for instrumentering og vedlikehold av måleinstrumenter i forsøksperioden. R.S. Hansen har tatt på seg det meste av vedlikeholdsarbeidet. Ved behandling av måledataene har spesielt Svein B. Hansen gjort en stor innsats for å få fram belastningsdiagrammene.

D. McClung, National Research Council, Canada, deltok i sin ansettelsesperiode ved NGI i oppstartingen av prosjektet, og har senere tatt aktiv del i behandling av måleresultatene.

B. Schieldrop, Industriell Hydro- og Aerodynamikk, har vært til meget god hjelp ved vurdering av måledataene og spesielt i forbindelse med

kalibrering av målekonstruksjonen.

J.O. Larsen ved NGIs skredgruppe har styrt prosjektet i nært samarbeid med skredgruppens leder K. Lied.

INNHOLDSFORTEGNELSE

	<u>SIDE</u>
FIGUROVERSIKT	6
SAMMENDRAG	8
INSTRUMENTERING	10
KALIBRERING	12
MÅLEPROSEDYREN	13
PROSJEKTETS UTVIKLING	14
TO METODER FOR Å BESTEMME SNØTRYKK	17
SAMMENHENG MELLOM SNØTRYKK OG SNØENS STIVEHTSVERDI OG LASTVERDI.....	18
TRYKSELLEMÅLINGENE	27
FEILKILDER	29
SNØTRYKKTEORI	32
PRAKTISK ANVENDELSE AV SNØTRYKKTEORIEN	37
REFERANSER	40

FIGUROVERSIKT:

- Fig. 001 : Kart over måleområdet
- " 002 : Nedbørshøyde i Grasdalen i snøakkumuleringssesongen fram til slutten av april i prosent av normalen
- " 003 : Belastningsdiagram for vintrene 1976, 1979 og 1981
- " 004 : Snøtrykk, stivhetsverdi, lastverdi og snøtemperatur for vinteren 1976
- " 005 : Snøtrykk, stivhetsverdi, lastverdi og snøtemperatur for vinteren 1979
- " 006 : Snøtrykk, stivhetsverdi, lastverdi og snøtemperatur for vinteren 1981
- " 007 : Gjennomsnittlig last som funksjon av lastverdien
- " 008 : Gjennomsnittlig last som funksjon av stivhetsverdien
- " 009 : Maksimalt trykk som funksjon av lastverdien
- " 010 : Maksimalt trykk som funksjon av stivhetsverdien
- " 011 : Trykksellemålinger vintrene 1976, 1979 og 1981
- " 012 : Snøens sig og glidning
- " 013 : Gjennomsnittlig trykk som funksjon av lastverdien. Sammenlikning med de teoretisk beregnede trykk etter McClung (1980) og Haefeli (1948)
- " 014 : Trykkets variasjon med stagnasjonsdybden

FOTOOVERSIKT:

Foto 1 : Forsøksområdet i Grasdalen på Strynefjell

" 2 : Det instrumenterte forbygningselementet

" 3 : Snøtrykksellenes plassering

TABELLOVERSIKT:

Tabell 1 : Beregnede trykk mot forbygningen avhengig av målte og beregnede snøparametre

Tabell 2 : Beregnede verdier av snøsigvinkel og Poissons tall for målte densiteter

SAMMENDRAG

NGI og NVE, Statskraftverkene, har i et samarbeidsprosjekt som har pågått siden 1975 utført regelmessige snø- og snøtrykkmålinger for å finne snøens sigetrykk mot konstruksjoner i bratt terreng. Den midtre av forbygningens tre elementer er instrumentert i den hensikt å finne snøtrykket mot et uendelig langt element stående normalt terrenget. Vi har brukt to uavhengige målesystemer.

1. Direkte måling med jordtrykkseller som er plassert nær senter av elementet.
2. Ved tilpassing av last, skjærkraft og momentdiagrammer til de målte spenninger funnet ved Geonor P 200 svingende streng deformasjonsmålere på bjelker og støtter.

Ut fra tre målevintres data (de øvrige tre vintre var nedbørsfattige og ga få brukbare data) har vi funnet snøtrykkets avhengighet av snøhøyde, densitet, hardhet og temperatur når glidning ikke finner sted, og sammenliknet med gjeldene snøtrykkteorier.

For å få vurdert snøtrykket mot interessante snøparametre har vi innført to betegnelser.

1. Snøens lastverdi = densitet x snøhøyde
2. Snødekkets stivhetsverdi = total rammemotstand.

I snødekke der glidningen mot bakken er målt til å være neglisjerbar har vi funnet at trykket øker utover vinteren med økende lastverdi og stivhetsverdi inntil snødekket blir isotermt i begynnelsen av mai. Etter at isotermen er inntrått synker trykket og stivhetsverdien relativt raskt mens lastverdien avtar langsomt.

Vi har vurdert gjennomsnittlig snøtrykksvariasjon med lastverdi og stivhetsverdi og funnet at det synes å være funksjonssammenheng. Gjennomsnittlig snøtrykk synes å øke noe sterkere enn lineært med lastverdien mens trykket synes å øke lineært med stivhetsverdien.

En vurdering av maksimaltrykkets variasjon med lastverdien og stivhetsverdien synes også å vise funksjonssammenhenger.

Snøtrykksellene viste stor variasjon i måleresultater som må tilskrives sellenes størrelse.

Trykksellene gir verdier som avhenger av hardheten i det lokale snølaget som trykksellene hviler mot, og gir bare unntaksvis verdier som kan sammenliknes med de beregnede ut fra målinger av spenningene i selve konstruksjonen. De sellene som gir representative verdier gir imidlertid kontroll av trykk og trykkutviklingen i de beregnede belastningsdiagrammene.

Ut fra målingene synes det å være relativt god overensstemmelse med snøtrykkteorien til McClung (1980) når det gjelder gjennomsnittlige trykk. Maksimaltrykket er gjennomgående høyere enn det teoretiske etter McClung's teori.

Ved praktiske beregninger av gjennomsnittlig snøtrykk vil teorien til McClung (1980) gi gode resultater. Når glidning antas å ville inntre må det korrigeres med en faktor som i praksis vil variere mellom 1,0 og 2,0.

I praktiske beregninger må det i tillegg tas hensyn til parallelle belastninger normalt terreng og randtrykk ved endelige elementer.

FORBYGNINGENS MIDTSEKSJON ER INSTRUMENTERT MED TRYKSELLER OG SPENNINGSMALERE

Forbygningen består av tre seksjoner i 5 m lengde plassert på samme kotehøyde med innbyrdes avstand på 0,2 m (foto 1). Endeseksjonene er Vik-verks standard aluminiumsforbygninger i 3,3 m høyde mens midtseksjonen er en stål-aluminiumsforbygning konstruert av NGI. Bærebjelker (normalt terreng) og støtter er utført i stål mens de horisontale planker er standard aluminiumsprofiler (foto 2).

Stålkonstruksjonen er instrumentert med Geonor P-200 vibrerende streng målere. Bærebjelkene, som er av typen HE-160A, ble påmontert parvist stående målere for å kunne finne momentfordelingen ved belastning. Støttene, som er i to seksjoner med profil HUP 88,9 x 6,5 i øvre del og HUP 101,6 x 4,9 i nedre del, er instrumentert nær festepunktene med 4 måleseller som gir aksialkrefter og momenter.

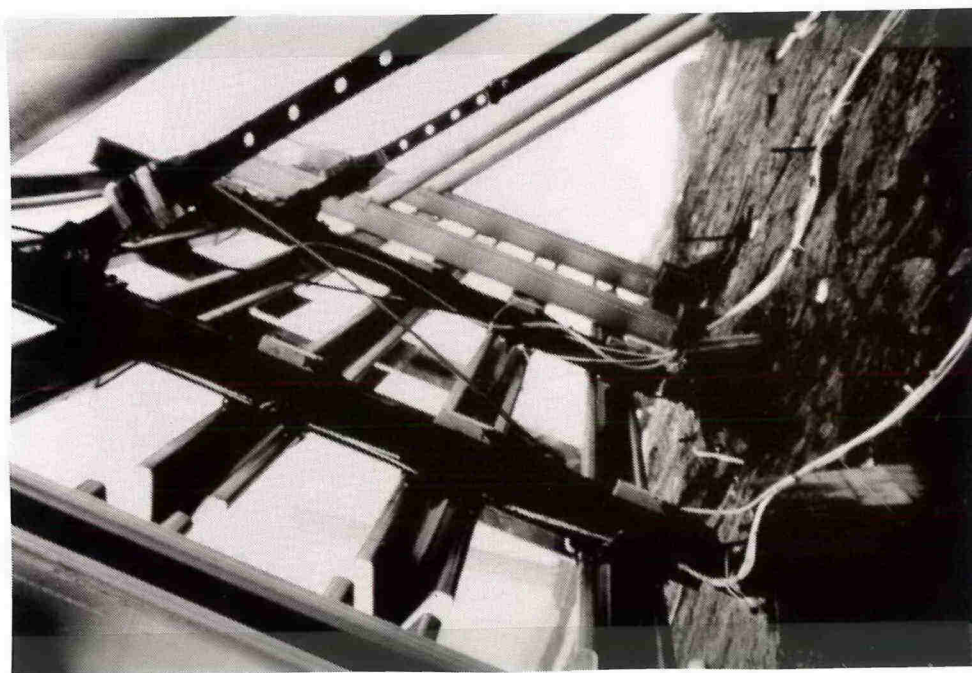


Foto 2 : Det instrumenterte forbygningselementet

I tillegg er det festet snøtrykkmalere av typen Geonor P-100 trykkselle

mellom de horisontale aluminiumsprofilene i den hensikt å måle snøtrykket direkte (foto 3).

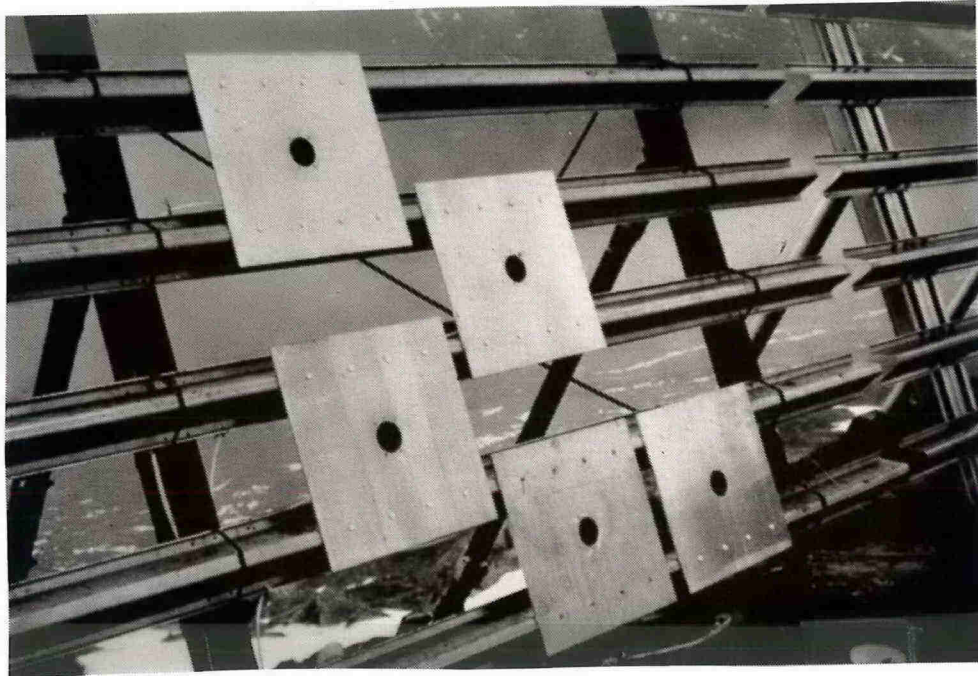


Foto 3 : Snøtrykksellenes plassering

- Vinteren 1975 -76 var det montert en trykkselle i 80 cm høyde over terrenget. De øvrige vintre var det montert 2 seller i 80 cm høyde, og en selle i henholdsvis 135 cm, 190 cm og 245 cm høyde. Hver måleselle er plassert i senter av en 80 x 80 cm aluminiumsplate montert mellom to horisontale aluminiumsplanker.

På oppsiden av forbygningen er det plassert glidesko i forskjellige avstander fra konstruksjonen for måling av snødekkets bevegelse på den glatte fjellflaten.

Målesellene er koplet til en felles sentral som er knyttet til vår forskningsstasjon ved kabelforbindelse. Spenningene i konstruksjonen kan finnes til enhver tid ved å aktivisere ønskede måleseller og lese av svingefrekvensene. Fra svingefrekvensene kan spenningene beregnes ved en omregningsformel.

VED KALIBRERING AV KONSTRUKSJONEN FANT VI STIVHETEN I KONSTRUKSJONSDELENE

For å finne stivheten i konstruksjonen ble hver av bærebjelkene prøvebelastet. Lasten ble påført i ett tonns trinn i tre forskjellige punkter. Ved beregning av teoretiske momentdiagrammer og sammenlikning med målte verdier i hvert av målepunktene fant vi at stivheten i bjelkene måtte ligge nær opp til teoretisk tabellverdi, $I = 1670 \text{ cm}^4$. Variasjonsområdet for de enkelte målinger tyder på en viss unøyaktighet som antas å være maksimalt 5 %.

Ved beregning av spenningen har vi valgt å bruke den teoretiske stivhet for et profil av denne type, $I = 1670 \text{ cm}^4$, som tilsvarer et motstandsmoment på $W = 220 \text{ cm}^3$.

VI GJØR REGELMESSIGE MÅLINGER AV SNØPARAMETRE OG SPENNINGER I KONSTRUKSJONEN

En gang i måneden profilerer vi snøhøyden ovenfor konstruksjonen, og utfører snødekkeundersøkelser ved ramprofil og snøskiktprofil. I dette måleprogrammet som blir intensivert utover ettervinteren og våren, måler vi snøhøyde, densitet, temperatur, fuktighet, hardhet og studerer snøstrukturen. Samtidig blir glideskoenes bevegelser registrert.

Målesellene blir avlest en gang i uka, og disse målingene blir også intensivert utover ettervinteren og våren. Vinteren 1980 -81 ble målesellene avlest opp til 8 ganger i døgnet i den perioden da snødekket ble isotermt og senere smeltet vekk rundt konstruksjonen. Hensikten var å få vurdert nøyaktigheten av målte trykk ved å se trykkets variasjon med lufttemperatur, snøtemperatur og soloppvarming av konstruksjonen.

TRE AV SEKS MÅLESESONGER GA BRUKBARE RESULTATER

Nedbørmengdene i forsøksperioden har vært sterkt varierende (fig. 002).

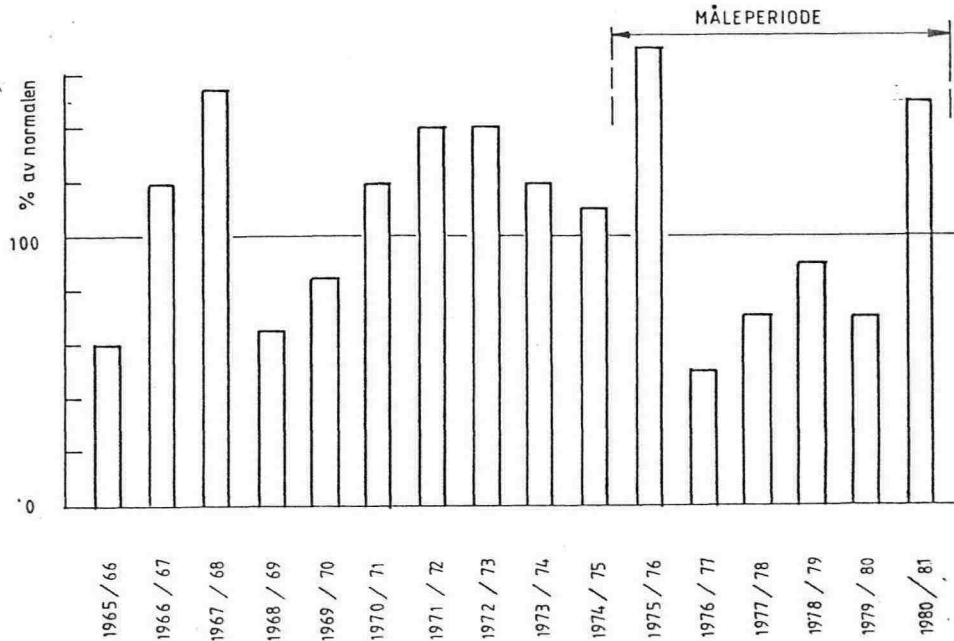


Fig. 002 : Nedbørshøyden i Grasdalen i snøakkumulerings sesongen fram til slutten av april i prosent av normalen

Mens vinteren 1975/76 hadde 170 % av normal nedbørmengde i snøakkumulerings sesongen frem til utgangen av april, så hadde de påfølgende vintre kun 50 % (1977), 70 % (1978) 90 % (1979), og 70 % (1980) av normalen. Vinteren 1981 var igjen nedbørsrik med 150 % av normalen.

Da konstruksjonen har stor stivhet har det vist seg at små eller moderate snøhøyder ikke gir belastninger som lar seg registrere med tilstrekkelig grad av nøyaktighet. Dette har ført til at vintrene 1977 -78 og 1980 ikke har gitt gode måledata mens vintrene 1976, 1979 og 1981 har gitt brukbare data.

Vinteren 1976 var det i midten av januar en midlere snødybde på $\bar{H} = 4,2$ m i undersøkelsesområdet, det vil si 70 cm høyere enn forbygningen, (fig. 003, side 20). Snødybden sank noe mot midten av februar, men økte på igjen

mot slutten av måneden. Snømektheten økte videre fram gjennom mars og april og nådde maksimalverdi $\bar{H} = 5,4$ m i månedsskiftet april/mai. Deretter sank snødybden fordi snødekket ble isotermt og tok til å smelte.

Temperaturen i midlere snødybde holdt seg konstant fra januar fram til midten av april, mens midlere densitet økte fra $\bar{\rho} = 354$ kg/m³ i januar til $\bar{\rho} = 426$ kg/m³ i midten av april. Ved isotermt snødekke inntreer en brå setning og densitetsøkning. Densiteten ble målt til $\bar{\rho} = 520$ kg/m³ i slutten av mai.

Vinteren 1978/79 var snødybden relativt jevn høy i forsøksområdet. Midlere snødybde var 2,2 m i slutten av januar og økte til 2,5 m i midten av februar. Senere var det små variasjoner bortsett fra at snøhøyden økte til 2,8 m i begynnelsen av mai.

På grunn av den beskjedne snøhøyden tredje året på rad var snøundersøkelsesrutinene ikke fulgt opp. Dette førte til noe mangelfullt materiale idet snøundersøkelsene var få og ble avsluttet for tidlig.

De data vi har angående densitetsutviklingen viser en midlere densitet som varierer fra $\bar{\rho} = 330$ kg/m³ i slutten av februar til $\bar{\rho} = 395$ kg/m³ i slutten av april. Med unntak av én måling har alle målingene verdier mellom $\bar{\rho} = 360$ kg/m³ og $\bar{\rho} = 395$ kg/m³ (se tabell 1). Snødekket var ikke isotermt innenfor måleperioden.

Vinteren 1980/81 var snømengden lavere enn vinteren 1975/76, men likevel så stor at konstruksjonen var dekket det meste av vinteren. I siste halvdel av januar var snødybden $\bar{H} = 3,1$ m og økte fram gjennom vinteren til en maksimalverdi på $\bar{H} = 4,2$ m i begynnelsen av mai. Deretter avtok snømengden raskt etter at snødekket ble isotermt.

Vi fikk også denne vinteren samme økning i densiteten fra $\bar{\rho} = 374$ kg/m³ i siste del av januar til $\bar{\rho} = 430$ kg/m³ i begynnelsen av mai da snødybden var størst. Deretter fikk vi en rask densitetsøkning etter at snødekket ble isotermt.

Målingen av glideskoene har gått jevnt i 6 vintre, og vi kan bare konstatere at glidningen er ubetydelig i den perioden da trykket øker til maksimalverdi. Når snødekket blir isotermt øker glidningen noe uten at dette gir målbare trykkøkninger. Vi anser på denne bakgrunn glidningens betydning for trykkmålingene for neglisjerbar.

SNØTRYKKET FINNES VED TO UAVHENGIGE METODER

Snøtrykket mot konstruksjonen måles (1) direkte med jordtrykkseller som er plassert nær senter av forbygningen, og (2) ved tilpassing av lastdiagram, skjærkraftdiagram og momentdiagram til spenningsmålinger i bjelker og støtter.

Spenningsmålerne i målemetode (2) er plassert parvist på bjelkene og gir moment og aksialkraft i 4 snitt. Støttene er instrumentert nær opplagerpunktene og gir aksialkrefter.

Da vi måler i to bjelke/støtte-systemer som står symmetrisk om senter i konstruksjonen, vil summen av pålastningene være totalbelastningen på det instrumenterte midtelementet. Dessuten vil belastningene på hver av bjelke/støttesystemene være nær like store. Ved videre behandling av dataene har vi derfor midlet de funne krefter og momenter. Dette har også gjort det mulig å anvende måleresultater som er mangelfulle ved at en eller flere måleseller er falt ut.

Ut fra de funne momentdiagram og støttekrefter har vi konstruert og tilpasset belastnings- og skjærkraftdiagram. Det er i denne tilpasningen tatt hensyn til støttenes eksentriske opplagring mot bjelkene. Snøens pålastning via de horisontale aluminiumsprofilene blir antatt å være punktlaster som angriper under senter av profilet. Det er ikke tatt hensyn til den noe eksentriske pålastning ved at snøen også har en terrengnormal sigkomponent som gir parallell pålastning av bjelkene og dermed tilleggsmomenter.

TRYKKMÅLINGENE PÅ FORBYGNINGEN VISTE KLAR SAMMENHENG MELLOM GJENNOM-
SNITTLIG TRYKK OG SNØPARAMETRENE STIVHETSVERDI OG LASTVERDI

Følgende symboler er brukt (se Fig. 012 side 32).

- H = snøhøyde normalt utjevnet terrengflate
- \bar{H} = midlere snøhøyde i målefeltet
- H_K = forbygningens konstruksjonshøyde
- H^1 = snøhøyde over forbygning
- $\bar{\rho}$ = midlere densitet i snødekket under topp forbygning når snøhøyden er lavere enn forbygningshøyden
- $\bar{\rho}^1$ = midlere densitet i snødekket over topp forbygning
- σ_m = maksimalt trykk normalt konstruksjonsflaten
- $\bar{\sigma}$ = gjennomsnittlig trykk normalt konstruksjonsflaten
- R = resultantkraft normalt konstruksjonsflaten
- a = avstanden mellom resultantkraftens angrepspunkt og utjevnet terreng
- ψ = terrengets stigningsvinkel
 $\psi = 25^\circ$ i forsøksområdet
- ν = Den viskøse analog til Poissons tall
- β = snøsigvinkel: Vinkel mellom terrengets fall-linje og krystallenes bevegelsesretning
- D = stagnasjonsdybden (en geometrisk funnet dybde som er et uttrykk for snøens glidning mot marka)

I diskusjonen av måleresultatene finner vi det interessant å innføre to nye betegnelser for å angi de viktigste egenskaper ved snødekket.

1) Snøens lastverdi

angir produktet av midlere densitet og snødybde ($\bar{\rho} \cdot \bar{H}$)
($\bar{\rho} \cdot \bar{H} + \bar{\rho}^1 \cdot \bar{H}^1$ dersom snøhøyden er større enn konstruksjonshøyden)

2) Snøens stivhetsverdi

angir snødekkets totale rammemotstand

Som en følge av snødekkets utvikling gjennom vinteren med økende snøhøyde og densitet vil trykket mot konstruksjonen øke. (Vi har i disse målingene bare tatt for oss normalkreftene mot konstruksjonen og sett bort fra kreftene parallelt.)

Vinteren 1976 var hele konstruksjonen dekket av snø fra begynnelsen av januar til utgangen av mai, (fig. 003). Snøtrykket var relativt høyt og kulminerte i månedsskiftet april/mai i den perioden da snødekket hadde størst dybde og ble isotermt.

På grunn av snømektigheten fikk konstruksjonen store randkrefter i overkant der én av de horisontale profilene ble deformert.

Vinteren 1979 var konstruksjonen bare delvis dekket med snø. Stivheten i målesystemet førte til små målerutslag og relativt unøyaktige målinger. Da midlere snødybde i målefeltet var lavere enn snødybden nær opptil konstruksjonen ble belastningsdiagrammene tilpasset reell dybde nær konstruksjonen.

Da både snødybde og densitet øker lite utover vinteren, fører dette til lite trykkøkning. I mars og april er trykket nær jevnt, men får en kulminasjon i begynnelsen av mai da snødekket har sin maksimale dybde.

Vinteren 1981 var hele forbygningen igjen dekket av snø, men snøhøyden var langt mindre enn i 1976. Trykket økte utover vinteren til begynnelsen av mars og holdt seg nær konstant fram til midten av april da en ny trykkøkning kom i forbindelse med snøhøyde- og densitetsøkning. Trykket kulminerte i begynnelsen av mai i forbindelse med at snødekket fikk størst dybde og isotherm tilstand.

Ut fra belastningsdiagrammene (fig. 003) ser vi at resultantkraften blir liggende i nær halv konstruksjonshøyde eller mellom 50 % og 61 % av konstruksjonshøyden i den perioden av vinteren da snøtrykket er størst. Det går også fram at resultantkraftens høyde varierer lite med høyden av snødekket over konstruksjonen.

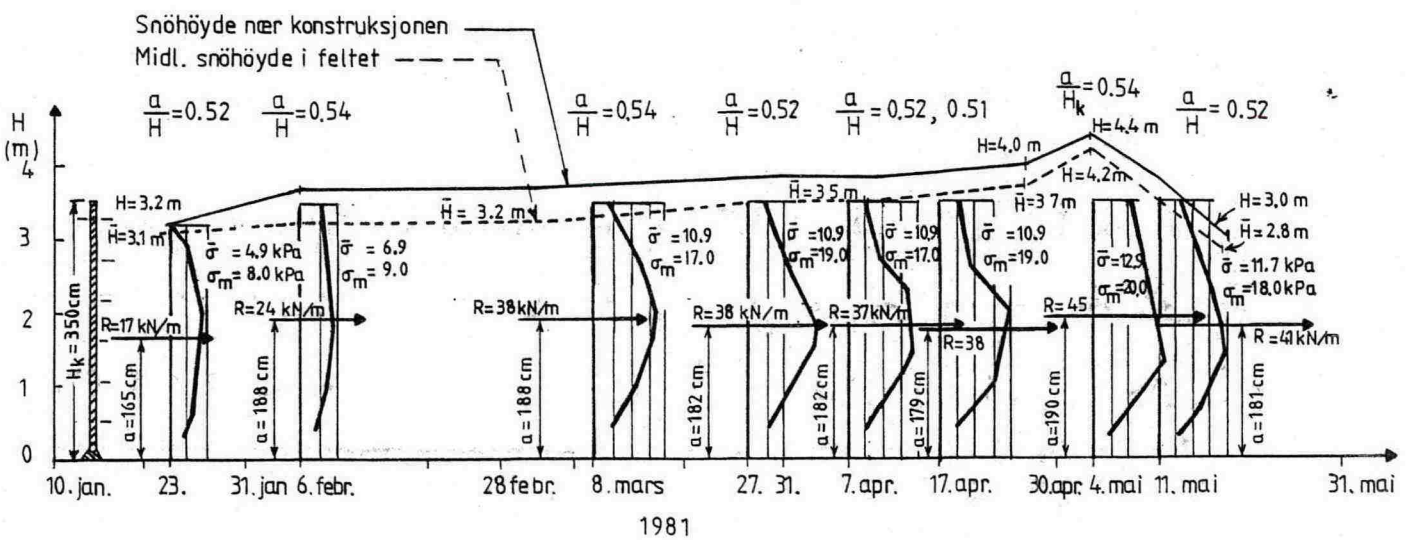
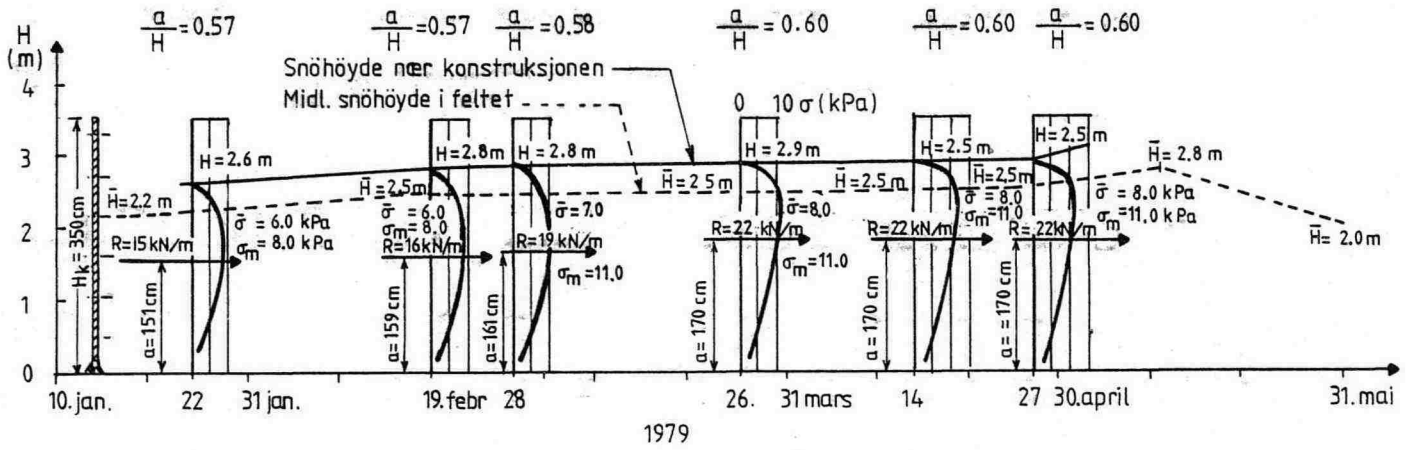
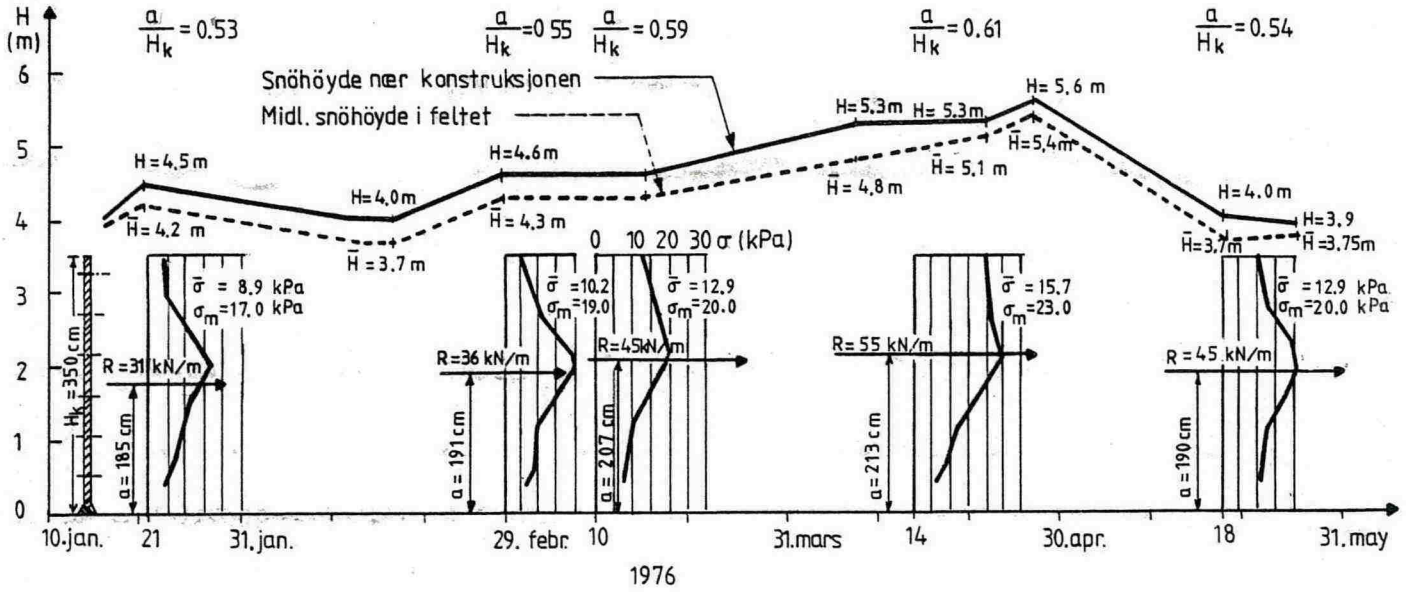


Fig. 003 : Belastningsdiagram for vintrene 1976, 1979 og 1981

Dato	Vertikal snøhøyde	Midlere snødybde normalt terreng \bar{H}	Midlere densitet $\bar{\rho}$ (kg/m ³)	Last pr. m R(kN/m)	Maks. trykk σ (kPa)	Gjennom- snitt. trykk $\bar{\sigma}$ (kPa)	Stivhets- verdi (kJ)	Lastverdi x g		Maks. trykk gjen. trykk $\sigma/\bar{\sigma}$
								$(\bar{\rho} \cdot \bar{H} \cdot g)$	$(\bar{\rho} \cdot \bar{H} \cdot g)$	
<u>1976</u>										
21/1	450	408	354	31	17	9	5,9	13,6	0,5	1,89
29/2	470	426	400 ^x	36	19	10	5,3	14,3	0,3	1,90
10/3	470	426	396	45	20	13	6,0	14,2	2,3	1,54
14/4	540	490	426	55	23	16	8,5	15,0	5,0	1,44
30/4				60	24	17				1,41
18/5	410	372	520 ^x	45	20	13	2,0	17,0	1,2	1,54
<u>1979</u>										
25/1	257	231	361	15	8	6		8,3		1,27
20/2	272	244	330	16	9	6	1,6	8,0		1,45
1/3	270 ^x	242 ^x	360 ^x	19	10	7		8,7		1,37
26/3	280 ^x	252 ^x	381	22	11	8	2,4	9,6		1,36
15/4	273	245	385	22	11	8	1,8	9,4		1,36
27/4	280	252	395	22	11	8	2,5	9,9		1,36
<u>1981</u>										
23/1	340	308	374	18	9	5	2,3	11,5		1,80
6/2	350	317	380	25	11	7	3,1	12,0		1,57
19/2				32	14	9				1,56
1/3	350	317	411	38	17	11	4,2	13,0		1,55
27/3	380 ^x	344 ^x	415 ^x	39	19	11		14,3		1,73
7/4	380	344	416	37	17	11	7,6	14,3		1,55
17/4	380 ^x	344 ^x	420 ^x	38	19	11		14,4		1,73
27/4				42	18	12				1,50
4/5	450	408	430	45	20	13	4,7	14,5	2,7	1,54
11/5	390	353	465	41	18	12	4,1	15,7	0,4	1,50

Tabell 1 : Beregnede trykk mot forbygningen avhengig av målte og beregnede snøparametre.
x : unøyaktige data.

Ved store mengder overlagret snø vil randkreftene i overkant av konstruksjonen øke og spenningene i hele øvre halvpart av konstruksjonen øker uten at dette fører til vesentlig høyere maksimalspenning. De målte maksimalspenninger i siste del av vinteren når snøtrykket var størst, ligger begge år mellom 17 og 24 kPa selv om mengden av snø over konstruksjonen varierer sterkt.

Det gjennomsnittlige trykket økte i 1976 fra 9 kPa den 21 januar, til 17 kPa 30. april. Trykket sank til 18. mai, men var fortsatt høyere enn tidligere på vinteren ved samme snømengder på grunn av densitetsøkningen.

Det gjennomsnittlige trykket holdt seg nær konstant i mars og første del av april 1981 på verdien 11 kPa. Snødekket lå da 30 - 50 cm over konstruksjonen, men midlere snømengde var nær lik konstruksjonshøyden. I siste halvdel av april og begynnelsen av mai økte snøtrykket til 13 kPa som maksimalverdi før det avtok mot midten av mai.

Maksimaltrykket ligger for alle målinger nær halv konstruksjonshøyde. En svak senkning av maksimaltrykkets angrepspunkt ble registrert utover sen vinteren 1981.

Densitet og snømengde øker utover vinteren. Dette fører til en økende lastverdi og stivhetsverdi. Mot slutten av vinteren øker temperaturen i snødekket. Lastverdien øker på grunn av økende densitet og økende eller nær konstant snøhøyde. Dette fører til økt trykk mens stivheten (stivhetsverdien) avtar (fig. 004 - 006, side 23 og 24).

I det tidsrommet da isoterm tilstand inntreffer, når lastverdien og trykket sine maksimalverdier. Deretter avtar trykket raskere enn lastverdien mens stivheten (stivhetsverdien) går mot null.

En sammenstilling av dataene for gjennomsnittlig belastning og lastverdien synes å vise at trykket øker noe raskere enn lineært med lastverdien (fig. 007, side 24).

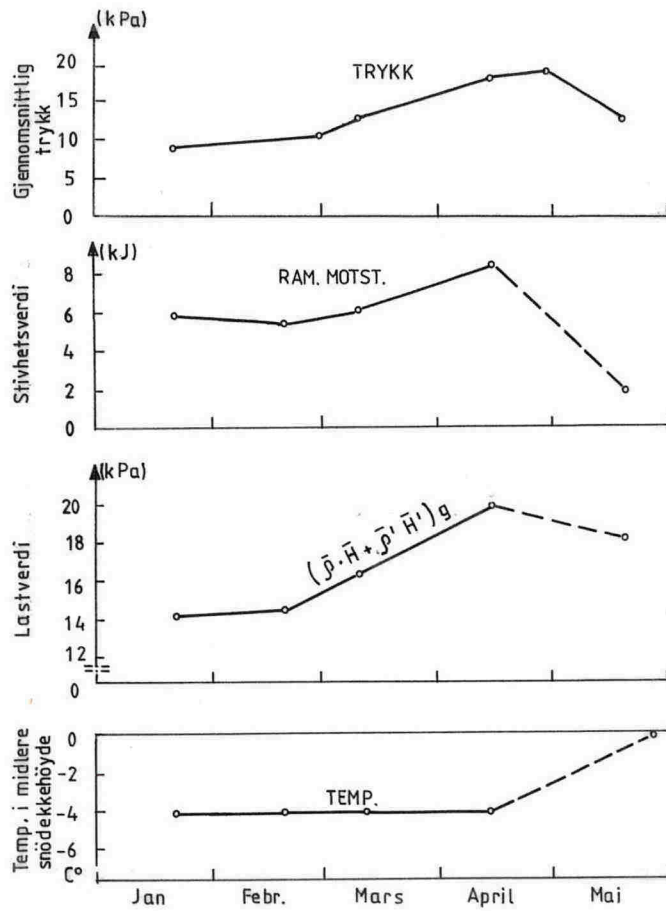


Fig. 004 : Snøtrykk, stivhetsverdi, lastverdi og snøtemperatur for vinteren 1976

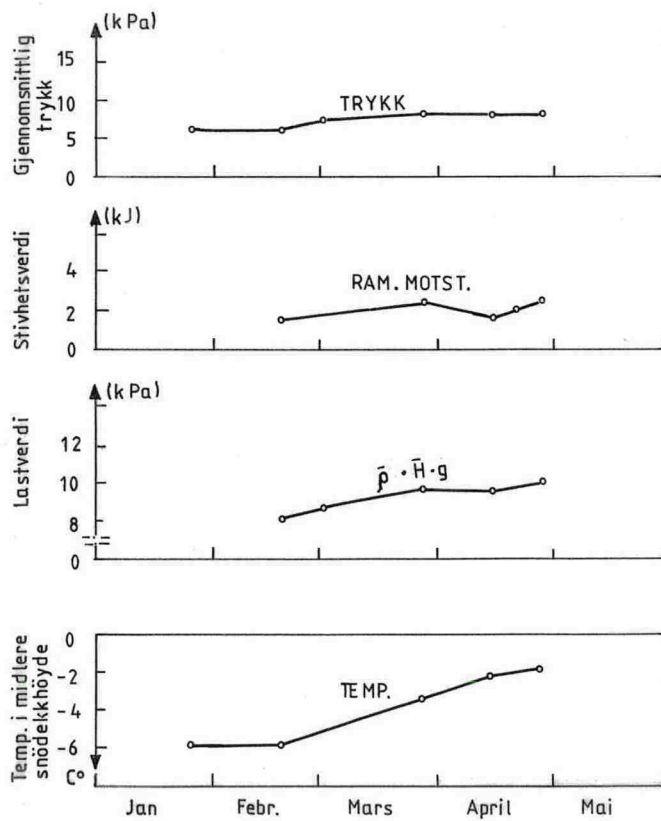


Fig. 005 : Snøtrykk, stivhetsverdi, lastverdi og snøtemperatur for vinteren 1979

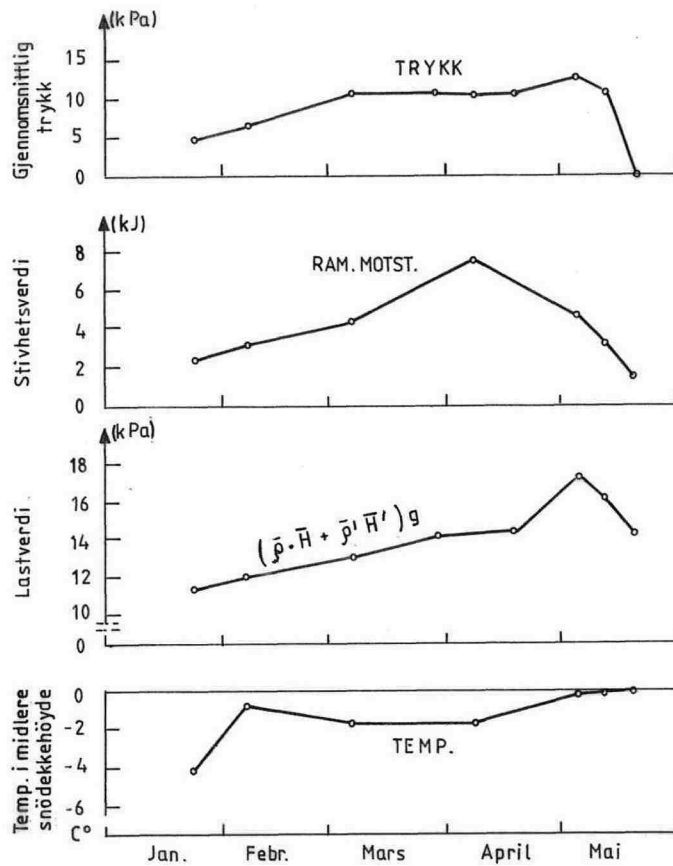


Fig. 006 : Snøtrykk, stivhetsverdi, lastverdi og snøtemperatur for vinteren 1981

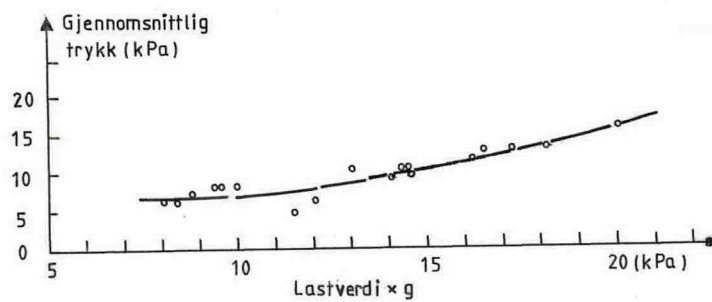


Fig. 007 : Gjennomsnittlig trykk som funksjon av lastverdi

Snøens stivhetsverdi viser en mulig lineær variasjon med gjennomsnittlig trykk (fig. 008). Dataene er sparsomme og spredningen stor slik at den grafiske framstillingen bare gir et omtrentlig bilde av funksjonssammenheng.

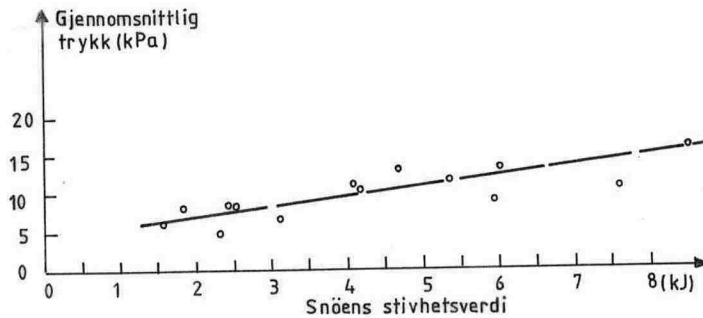


Fig. 008 : Gjennomsnittlig trykk som funksjon av stivhetsverdi

En sammenstilling av maksimaltrykket som funksjon av lastverdi og stivhetsverdi viser også at det sannsynligvis er funksjonssammenhenger (fig. 009 og 010). Punktmassen er imidlertid så spredt at det på nåværende tidspunkt er for tidlig å uttale seg nærmere om dette før mer materiale er innhentet.

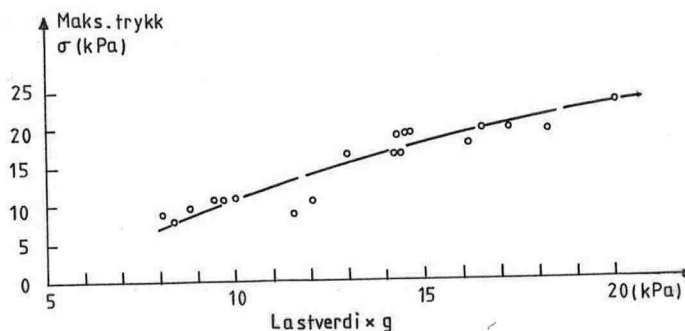


Fig. 009 : Maksimalt trykk som funksjon av lastverdi

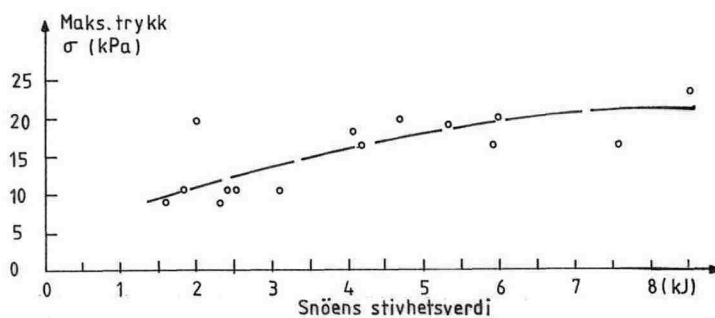


Fig. 010 : Maksimalt trykk som funksjon av stivhetsverdien

Forholdet mellom maksimaltrykket og det gjennomsnittlige trykket ($\sigma/\bar{\sigma}$) varierer meget. Laveste registrerte verdi er 1,27 og høyeste registrerte verdi er 1,9 med 1,54 som gjennomsnitt, (se tabell 1 side 21).

Etter snøtrykkteorien til McClung (1980) som baseres på lineær sigdeformasjon gjennom snødekket, er dette trykkforholdet 20 % lavere enn vår målte gjennomsnittsverdi. Nå er våre målinger unøyaktige, men likevel er det med utgangspunkt i målingene grunnlag for å stille spørsmålstegn ved teorien på dette punktet.

ENKELTE LOKALE TRYKSELLEMÅLINGER VISER GOD OVERENSSTEMMELSE MED
MÅLINGENE PÅ STÅLKONSTRUKSJONEN

Trykksellen som ble installert i 1975, 80 cm over bakken, viste en trykkøkning fra 8 kPa i månedsskiftet januar/februar til 12 kPa i begynnelsen av mai (fig. 011). Ut fra diagrammet i figur 003 ser vi at trykket i denne høyden er funnet å være 8 kPa 21. januar og 29. februar, økende til 11 kPa 18. mai. Trykksellen synes ut fra disse målingene å bekrefte at det beregnede trykk ut fra spenningsmålinger er nær riktig.

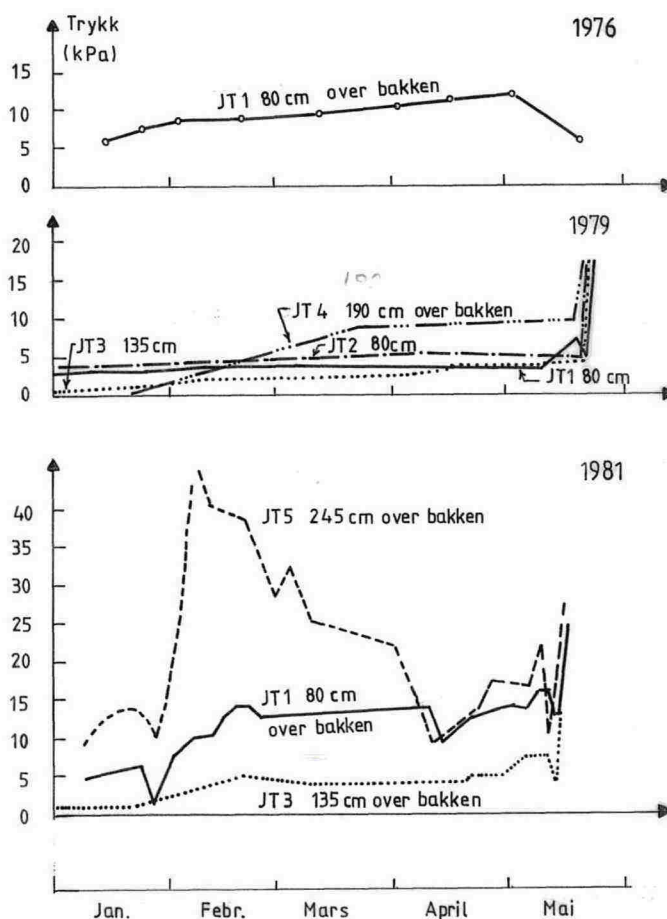


Fig. 011 : Trykksellemålinger vintrene 1976, 1979 og 1981

Vinteren 1979 var fem trykkseller installert i forskjellige høyder. Disse sellene ga forskjellige resultater (fig. 011).

80 cm over bakken viser diagrammene (s. 20) en svak trykkøkning utover vinteren fra 5 til 6 kPa. Måleselle JT1 viser trykk fra 3 til 4 kPa i denne høyden mens selle JT2 viser 4 til 6 kPa.

I høyde 190 cm over bakken viser diagrammene (s. 20) en trykkøkning fra 8 til 11 kPa fra slutten av januar til slutten av april mens måleselle JT4 viser en jevn trykkstigning fra 1 kPa i slutten av januar til 9 kPa i slutten av mars. Deretter svak trykkøkning til 10 kPa i begynnelsen av mai. De nevnte trykksellene synes å indikere at diagrammenes trykk er av riktig størrelse uten å bekrefte verdiene eksakt.

Vinteren 1981 viste nesten alle måleseller urimelige resultater bortsett fra måler JT1 i 80 cm høyde (fig 011). Denne sella ga imidlertid relativt interessante resultater. Trykksella viste en økning i trykket fra 5 til 6 kPa rundt midten av januar. Deretter fikk vi en rask økning i trykket i forbindelse med et sterkt mildværsinnbrudd i begynnelsen av februar. Trykket økte til 14 kPa i midten av måneden for så å stabilisere seg mellom 13 og 14 kPa utover vinteren til begynnelsen av april. Senere fikk vi svingninger i trykket mellom 9 og 16 kPa i april og begynnelsen av mai. I midten av mai steg trykket uhyre raskt til verdier som det ikke synes å være noen rimelig forklaring på ut fra snøtrykksellene. (Samme effekt ble registrert i mai 1979.)

Trykket i 80 cm høyde ble ut fra diagrammene (s. 20) funnet å stige fra 6 kPa i slutten av januar til 10 kPa i mars. Videre steg trykket svakt utover vinteren til begynnelsen av mai da maksimaltrykket i denne høyden ble funnet å være 12 kPa.

MALINGENE HAR EN REKKE FEILKILDER SOM REDUSERER NØYAKTIGHETEN

Snømålingene i felten er utført ovenfor forbygningene. Snøhøydeprofilene er lagt normalt på kotene og de fleste profilene er lagt ovenfor enden av nordre element. Skiktprofilene er tatt nord for forbygnings-elementene.

De oppgitte snøhøyder er middelveier av målinger over en lengde på 20 m. Da snøhøyden generelt avtar oppover i terrenget og inn mot senter av forbygningsområdet, er middelveien noe forskjellig fra og helst mindre enn den reelle snøhøyden inn mot måleelementet. Forskjellen vil variere, men kan være opp til 0,5 m.

Snøakkumulasjonen rundt forbygningen blir ujevn på grunn av vindtransport i første del av vinteren når selve forbygningen påvirker vind og akkumulasjonsforholdene. Senere på vinteren fører snøsiget til en oppstuvning bak forbygningen.

Skiktprofilene gjøres på siden av forbygningselementene for ikke å forstyrre snødekket som påvirker konstruksjonen. Nå er imidlertid snødybden og snølagenes tykkelse i skiktprofilområdet noe forskjellig fra midlere snøforhold. Dette vil kunne gi utslag i de målte snøparametrene densitet og hardhet (stivhetsverdien).

Avstanden mellom skiktprofilstedene og den instrumenterte forbygning er mindre enn 15 m, og terrengforholdene fører til liten variasjon i snødekket. Vi må derfor kunne anta at utslagene i de nevnte parametre er relativt små, og får liten betydning sammenliknet med eksempelvis unøyaktigheten i snødybde-målingene.

Glideskoene blir lagt ut om høsten, og vi har registrert at det ofte legger seg et islag på svaberget før snøen kommer. Målingene av snøens glidning kan derfor bli unøyaktige idet glideskoene fryser fast. Nå ligger imidlertid målerne på svært ulike steder og måleprogrammet har pågått i så mange år under skiftende forhold at vi må kunne konkludere med at glidningen likevel er meget liten fram til det tidspunkt da trykket når maksimalverdien.

Trykksellene i front av forbygningen er montert i senter av 80 x 80 cm aluminiumsplater. Snøsiget mot hver av platene forutsettes jevnt fordelt, og slik at målesellene gir et uttrykk for midlere trykkbelastning.

Snøsiget mot en plate av denne karakter der snøen delvis siger rundt og delvis hviler mot plata innebærer visse feilkilder. Snøtrykket mot hvilket som helst lite element vil være avhengig av hardheten i det snøskiktet som hviler mot elementet. Er det for eksempel bløtere snø mot målesella enn i lagene over og under vil trykket bli lite. Dette skyldes brovirkning mellom de harde lag der det meste av kreftene vil overføres til aluminiumsplata og ikke gi vesentlige utslag på målesella.

Samme effekt får vi dersom deler av snødekket i samme lag har forskjellig hardhet. Vi får da effekter som enten kan føre til høyere trykk enn forventet dersom det harde parti ligger mot målesella eller lavere trykk enn forventet når bløtere parti ligger mot målesella (fig. 011). De målte trykkselleverdier vil således bare være orienterende og kan ikke uten videre godtas som reelle. F.eks. viste det seg vinteren 1981 at en av målesellene hadde lave belastninger hele vinteren (JT3), mens en annen måleselle (JT5) viste langt høyere verdier enn vi kunne forvente. Bare én måleselle (JT1) viste verdier som vi antok var reelle.

Stivheten i stålkonstruksjonen er som nevnt funnet å være nær opp til tabellverdien for stålprofiler av den brukte typen (HE 160A). Imidlertid vil noen prosent avvik (og dette var vanskelig å fastslå nøyaktig ved prøvebelastningen) føre til beregningsfeil av momentene, og dermed feil i belastningsantagelsen. Feilen begrenser seg imidlertid til få prosent.

Snøens belastning av konstruksjonen er delvis normalt på, delvis parallelt med bærebjelkene. Normalbelastningen overføres gjennom de horisontale aluminiumsbjelker som ligger an mot bærebjelkene. Ved å anta punktbelastning under senter av bjelken gjøres i denne forbindelse liten feil. Belastningen parallelt med bærebjelkene belaster disse med aksialkrefter og momenter på grunn av konstruksjonens utforming. Disse

momentene summerer seg opp positivt og negativt og gir en momentpåføring som varierer fra måleselle til måleselle avhengig av snøens belastningsfordeling. Da vi ikke tar hensyn til disse momentene vil våre målinger ha en usikkerhet som i størrelse er 5 - 10 %.

Målesellenes plassering under de horisontale aluminiumsprofiler er litt uheldig da disse punkter representerer de teoretiske pålastningspunktene. En mer omfattende instrumentering kunne vært ønskelig der bl.a. aksialkreftene i bjelkene og momentene mellom pålastningspunktene ble funnet.

SNØTRYKK ER TIDLIGERE TEORETISK BEHANDLET AV BL.A. HAEFELI (1948, 1966) OG McCLUNG (1976, 1980).

Snøtrykk mot konstruksjoner i bratt terreng er tidligere behandlet teoretisk av bl.a. Haefeli (1948, 1966) og McClung (1976, 1980).

Haefeli (1948) har i sin behandling kommet fram til følgende uttrykk for gjennomsnittlig normalspenning mot et uendelig langt element som står vinkelrett terrengplanet. (Hentet fra McClung (1980) og Salm (1977)).

$$1. \quad \bar{\sigma} = \frac{\bar{\rho} g H}{2 \cos^2 \psi} \left[(1 - 2 \operatorname{tg} \beta_{450}) \cos^3 \psi + \frac{1}{3} \left(\frac{2}{\operatorname{tg} \beta_{450}} \right)^{\frac{1}{2}} \sin 2\psi \left(1 + \frac{3D}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

og da $\operatorname{tg} \beta_{450} = \frac{1}{2} \frac{1 - \nu}{1 + \nu}$ (Haefeli, 1966) kan det gjennomsnittlige snøtrykket uttrykkes ved Poissons tall.

$$2. \quad \bar{\sigma} = \bar{\rho} g H \sin \psi \left[\frac{2}{3} \left(\frac{1 - \nu}{1 + \nu} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\cos \psi} \left(1 + \frac{3D}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \frac{\nu}{1 + \nu} \bar{\rho} g \frac{H}{2} \cos \psi$$

Første ledd i likningen er snøsigbelastningen mens siste ledd er statisk snølast. Likningen er basert på en todimensjonal modell der snøens bevegelse anses å øke rettlinjet med høyden over terrengplanet (fig. 012).

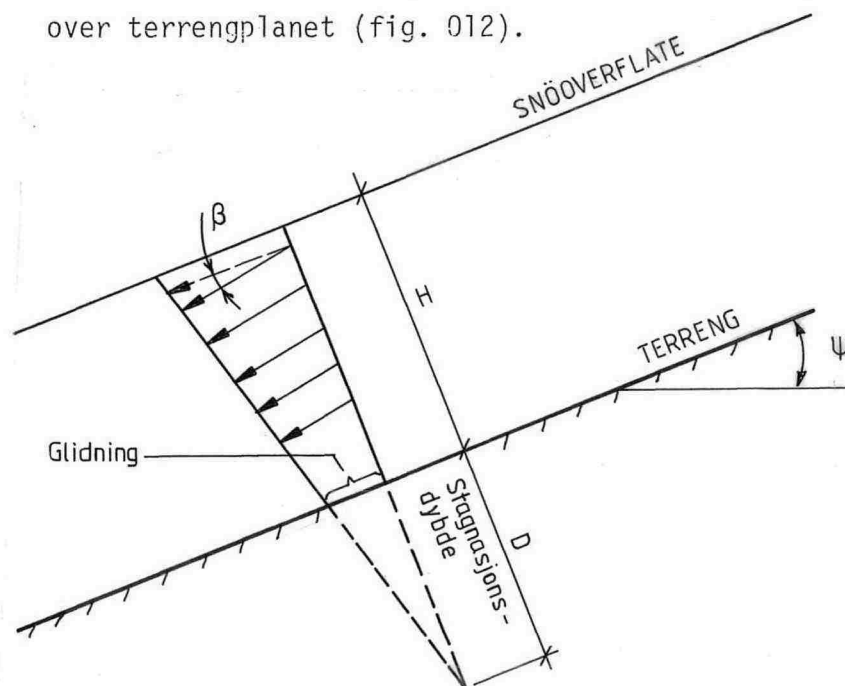


Fig. 012 : Snøens sig og glidning.

Modellen har sitt grunnlag i tidligere jordtrykksteori med visse modifikasjoner for det spesielle materialet snø.

McClung's modell (1980) er også basert på lineær sigdeforrasjon gjennom snødekket. Han har i sin teoretiske behandling kommet fram til praktisk anvendbare snøtrykkformler basert på dagens plastisitetsteori i mekanikken.

$$3. \quad \bar{\sigma} = \bar{\rho} g H \sin \psi \left[\left(\frac{2}{1-\nu} \right) \left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{\nu}{1-\nu} \frac{\cotg \psi}{2}$$

Når terrenget er slakere enn $\psi = 45^{\circ}$ vil snøens setningseffekt influere sterkere på trykket enn denne likningen tilsier.

McClung (1980) foreslår derfor følgende modifikasjon:

$$\left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2} \right) \text{ erstattes med } \left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2} \cotg \psi \right)$$

i formel 3. for hellinger mellom 30° og 45° .

Vi antar at denne modifiserte formel også gjelder tilnærmet ned til en helningsvinkel på $\psi = 25^{\circ}$ og anvender formelverket for å beregne teoretisk snøtrykk i forsøksfeltet.

Enkelte av våre målinger er gjort på nedsnødde konstruksjoner. McClung (ikke publisert) anbefaler under disse forhold at uttrykket $\bar{\sigma} H$ i formlene 1, 2 og 3 erstattes med $(\bar{\rho} \bar{H} + \bar{\rho}^1 \bar{H}^1)$. Første ledd tar hensyn til snøen under toppen av forbygningen mens annet ledd tar hensyn til snøen over.

Da de utledede trykkteorier er basert på snøens plastisitetsforhold uttrykt ved Poisson's tall har vi i figur 013 trukket opp funksjons-sammenhengen mellom det gjennomsnittlige trykket $\bar{\sigma}$ og lastverdien $(\bar{\rho} \bar{H} + \bar{\rho}^1 \bar{H}^1)$ for ulike verdier av ν . Vi ser umiddelbart at teorien til McClung (1980) gir høyere trykkverdier enn teorien til Haefeli (1948) for samme lastverdi. De målte verdier ligger spredt, men grupperer seg stort sett mellom $\nu = 0$ og $\nu = 0,3$ etter McClung's teoretiske beregninger. Etter Haefelis teori ligger de målte verdier i et område der ν vil variere mellom 0,2 og 0,45.

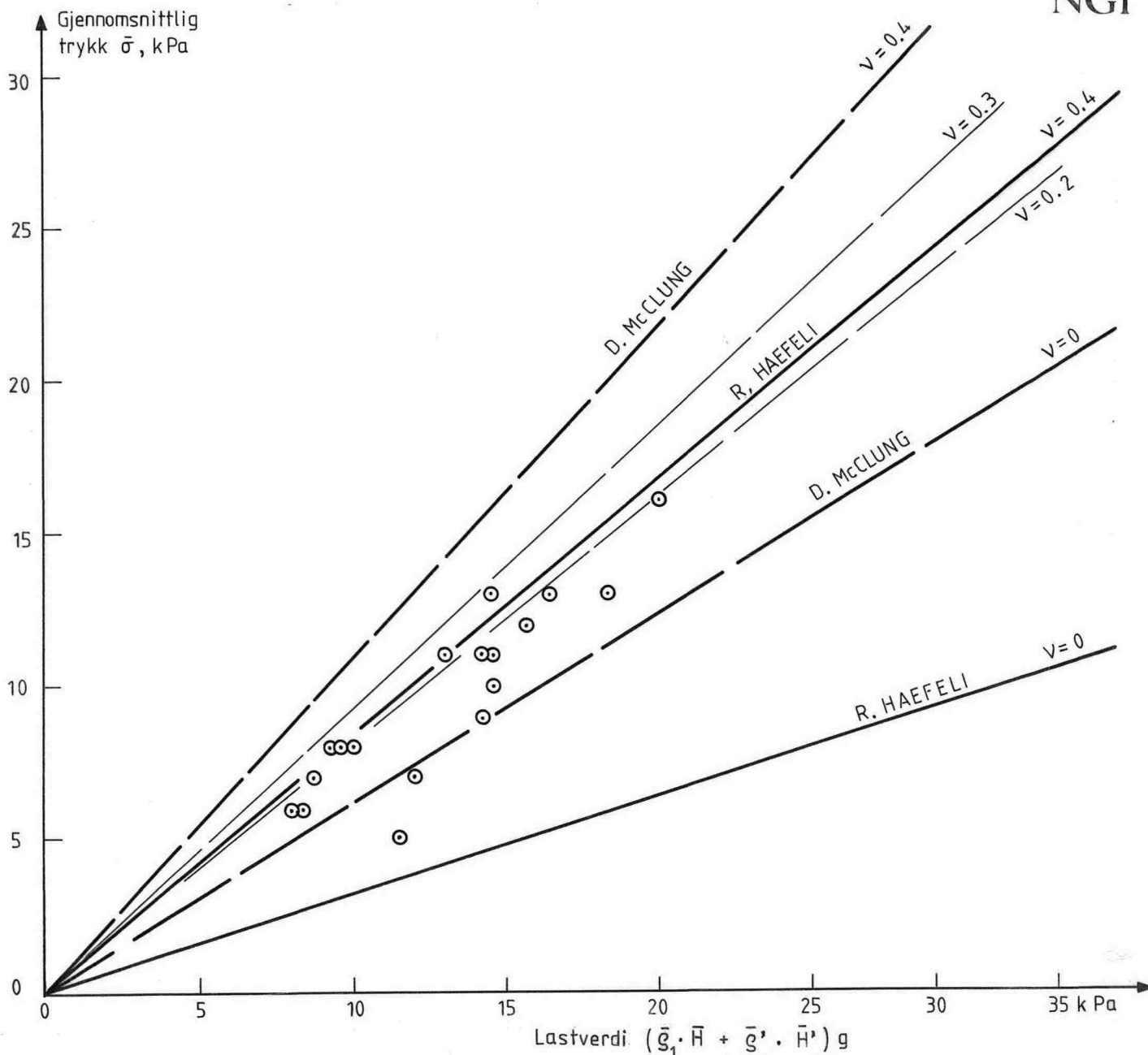


Fig. 013 : Gjennomsnittlig trykk som funksjon av lastverdi, sammenliknet med de teoretisk beregnede trykk etter McClung (1980) og Haefeli (1948).

En beregning av v ut fra snøens tetthet er anbefalt i Haefeli's snøtrykkteori (1966) og baseres på følgende uttrykk:

$$\text{tg } \beta_{450} = \frac{1}{2} \frac{1 - 2v}{1 - v}$$

eller $\frac{v}{1 - v} = 1 - 2 \text{tg } \beta_{450}$

der $\text{tg } \beta_{450} \approx 0,57 \left(1 - \frac{\bar{p}}{\rho_s}\right)$

Ut fra de beregnede verdier for Poissons tall (tabell 2) vil en kalkulasjon etter Haefelis teori stort sett gi lavere trykkverdier enn målt i dette forsøket (fig. 013). Brukt i McClungs teoretiske modell vil de beregnede verdier av ν gi nær riktige eller høyere trykkverdier enn de målte.

Ut fra tilgjengelig materiale og egne forsøk (NGI-rapport 58101-3, mai 1978) synes verdiene av Poissons tall ν å variere mellom $0 < \nu < 0,38$ når densiteten er i området $300 \text{ kg/m}^3 < \bar{\rho} < 550 \text{ kg/m}^3$.

Med unntak av en måling ligger våre feltmålinger innenfor $0 < \nu < 0,3$ etter McClungs modell med tyngdepunkt nær $\nu = 0,20$. Etter Haefelis modell ligger målingene stort sett innenfor $0,2 < \nu < 0,5$ med tyngdepunkt nær $\nu = 0,35$.

Etter de modellene som er tilgjengelige for snøtrykkberegning vil verdiene for Poissons tall være avgjørende. Poissons tall er vanskelig å finne ut fra målinger, eller har stor spredning i måleverdiene. Forsøkene våre synes imidlertid å vise at det ved praktisk konstruksjonsberegning vil være mulig å få en svak overestimering av kreftene ved å anvende McClungs snøtrykk-modell. Forutsetningen er en antagelse av at Poissons tall har verdier som vanligvis ligger mellom 0,15 og 0,38 og som kan bestemmes ut fra Haefelis teori (1966).

Antagelig vil videre undersøkelser av Poissons tall kunne gi bedre grunnlag for vurdering av hvilke verdier som bør brukes i praktisk dimensjonering. Dette vil igjen influere på synet på eksisterende snøtrykkmodeller og deres brukbarhet i snøtrykkberegningen.

	$\bar{\rho}$ kg/m ³	tg β_{450}	ν
<u>1976</u>			
21/1	354	0,37	0,21
29/2	400	0,34	0,24
10/3	396	0,34	0,24
14/4	426	0,33	0,25
18/5	520	0,27	0,33
<u>1979</u>			
25/1	361	0,36	0,22
20/2	330	0,38	0,19
1/3	360	0,36	0,22
26/3	381	0,35	0,23
15/4	385	0,35	0,23
27/4	395	0,34	0,24
<u>1981</u>			
23/1	374	0,36	0,22
6/2	380	0,35	0,23
1/3	411	0,34	0,24
27/3	415	0,33	0,25
7/4	416	0,33	0,25
17/4	420	0,33	0,25
4/5	430	0,32	0,26
11/5	465	0,30	0,29

Tabell 2 : Beregnede verdier av snøsigvinkel og Poissons tall for målte densiteter.

PRAKTISK ANVENDELSE AV SNØTRYKKTEORIEN SETT PÅ BAKGRUNN AV UTFØRTE FELTUNDERSØKELSER

Ved snøsigberegning av konstruksjoner i bratt terreng, 25 - 45°, angir McClung (1980) middeltrykket:

$$\bar{\sigma} \approx \left[\left(\frac{2}{1-\nu} \right) \left(\frac{D}{H} + \frac{1}{2} \cotg \psi \right) \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \bar{\rho} g H \sin \psi + \frac{\nu}{1-\nu} \frac{\bar{\rho} g H}{2} \cos \psi$$

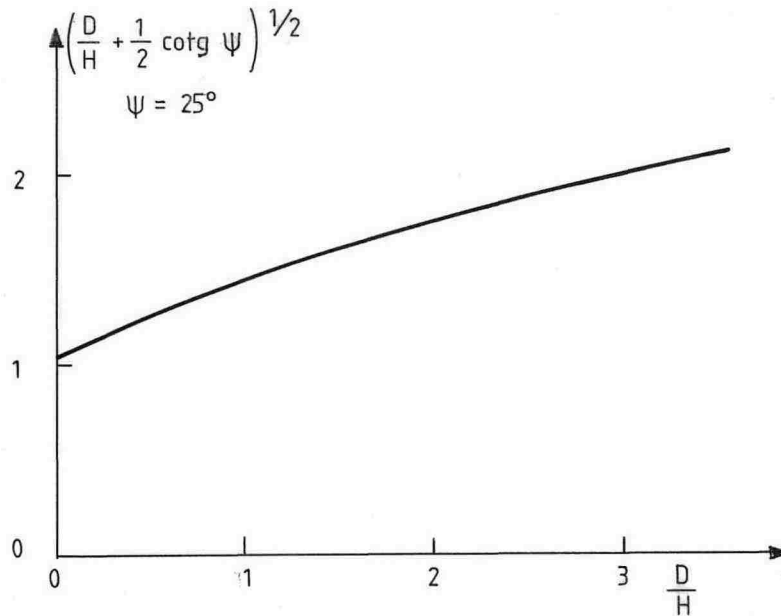


Fig. 014 : Trykkets variasjon med stagnasjonsdybden

Maksimaltrykket ligger nær halv konstruksjonshøyde og kan beregnes ved følgende uttrykk:

$$\sigma_m \approx \left[\left(\frac{2}{1-\nu} \right) \left(\frac{D}{H} + 0,6 \cotg \psi \right) \right]^{\frac{1}{2}} \bar{\rho} g H \sin \psi + \frac{\nu}{1-\nu} \frac{\bar{\rho} g H}{2} \cos \psi$$

Ut fra målingene vil denne formel gi for lave verdier, så vi vil anbefale at den beregnede maksimallast høynes med 25 %.

Resultantkraftens tyngdepunkt ligger i en høyde av 0,5 til 0,6 ganger konstruksjonshøyden og varierer lite selv om konstruksjonen skulle bli overdekket med en snøhøyde på inntil 20 % av konstruksjonshøyden.

Ved praktisk beregning av forbygningskonstruksjoner skal konstruksjonshøyden tilsvare ekstrem snøhøyde. Vi vil i disse beregninger anbefale at resultantkraftens angrepspunkt legges i halv konstruksjonshøyde. Nedsnødde konstruksjoner utsettes for betydelige randkrefter i overkant. Disse kan langt overstige de beregnede maksimalspenninger.

Innenfor de mest aktuelle terrengforhold vil ikke glidning medføre mer enn 50 % tillegg i trykket, d.v.s. $\frac{D}{H} < 1,3$ (fig. 014). Under ekstreme forhold kan trykket øke med mer enn 100 % $\frac{D}{H} > 3$.

Det omtalte trykk er trykket mot en uendelig lang vegg som står vinkelrett på terrenget. Da enhver konstruksjon har en sideveis begrensning vil randkrefter forekomme. Disse randkrefter er ikke undersøkt ved våre forsøk, men ved praktisk beregning anbefales brukt de Sveitsiske retningslinjer (1968) som definerer en randfaktor $f_R = 1,0 + 1,25 \cdot N$. N er en glidefaktor som vanligvis vil variere fra 1 til 2 avhengig av forholdet mellom beregnet trykk med og uten glidning:

$$N = \frac{\bar{\sigma}(D)}{\bar{\sigma}(D=0)}$$

Randtrykket beregnes til:

$$\bar{\sigma}_R = f_R \cdot \bar{\sigma} \text{ (kPa)}$$

i virkelengde $\Delta l = \frac{H_K}{3} \text{ (m)}$

I tillegg til normaltrykket mot konstruksjonen vil et parallelltrykk normalt på terrenget komme i betraktning ved dimensjonering av konstruksjoner i bratt terreng. Dessuten vil det i mange tilfeller være aktuelt å korrigere for avvik ved konstruksjonsplassering i annen vinkel enn normalt på terrenget. De Sveitsiske retningslinjer for støtteforbygninger (1968) gir holdepunkter for disse beregninger. Alternativt må det gjøres en omfattende teoretisk analyse for å bestemme de dimensjonerende krefter i hvert enkelt tilfelle.

JOL/acm

REFERANSER

- 1) Bader, H. von, R. Haefeli, E. Bucher, J. Neher, O. Eckel, C. Thams og P. Niggli. 1939. Der Schnee und seine Metamorphose. Beitr. Geol. Schweiz Geotech. Seri. Hydrologie, Nr. 3. (Engelsk oversettelse: U.S., Snow, Ice and Permafrost Research Establishment. Oversettelse 14 1954).
- 2) Haefeli, R. 1948. Schnee, Lawinen, Firm und Gletscher. Sonderabdruck aus Ingenieurgeologie L. Bendel. Vol. 11. Springer-Verlag, Wien.
- 3) Haefeli, R. 1966. Considérations sur la pente critique et le coefficient de pression au repos de la couverture de neige. Symp. internationale sur les aspects scientifiques des avalanches, 5 - 10 Avril 1965, Davos, Suisse. p 151 - 53.
- 4) McClung, D.M. 1976. Snow pressure on rigid obstacles. J. Glaciol. 17 (76) s 277 - 285.
- 5) McClung, D.M. 1980. Creep and glide processes in mountain snow-packs. NHRI paper nr. 6, Ottawa.
- 6) Querrain, M.R.de.1966. Measurements on the pressure at rest in a horizontal snow cover. Symposium internationale sur les aspects scientifiques des avalanches de neige, 5 - 10 Avril 1965, Davos, Suisse, p. 154 - 59.
- 7) Salm, B. 1977. Snow forces. J. Glaciol. 1981 s. 67 - 110.
- 8) Mitteilung des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung nr. 29. 1968.: Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Richtlinien für den permanenten Stürztverbau.

REFERANSESIDE
Documentation page

FRI DISTRIBUTUSJON
Free distribution

BEGRENSET DISTRIBUTUSJON
Limited distribution

KONFIDENSIELL
Restricted

TITTEL <i>Title</i>		SNØENS SIGETRYKK MOT KONSTRUKSJONER I BRATT TERRENG	
FORFATTER <i>Author</i>		JAN OTTO LARSEN	
ANSVARLIG <i>Responsible</i>		KOMMUNE <i>Location</i>	
NGI FORSKNINGSFELT (LTP) 4.3 <i>Research area</i>		DATO 11. JUNI 1982 <i>Date</i>	
NGI RAPPORT <i>Report</i> 58110-1 NGI INTERNAL REPORT <i>Internal report</i> NGI OPPDRAGSRAPPORT <i>Contract report</i>		SIDER 40 <i>Pages</i>	
OPPDRAGSGIVER <i>Client</i>		ISBN ISSN	
NTNF PROSJEKTNUMMER <i>NTNF project No.</i>		PRIS <i>Price</i>	

REFERAT *Abstract*

NGI og NVE, Statskraftverkene har i et samarbeidsprosjekt målt snøens sigetrykk mot konstruksjoner i bratt terreng. Rapporten er en konklusjon etter seks vintres målinger på den midtre av tre forbygningselementer.

Vi har funnet snøens trykkfordeling mot konstruksjonen og trykkets utvikling gjennom vinteren avhengig av snøparametrene snøhøyde, denistet, hardhet og temperatur når glidningen mot marka er neglisjerbar. Ved sammenlikning med gjeldende snøtrykkteorier har vi funnet gode holdepunkter for praktisk dimensjonering av konstruksjoner utsatt for snøsig.

EMNEORD *Keywords*

NORSKE <i>Norwegian</i>	ENGELSKE <i>English</i>
SNØSIGTRYKK	SNOWCREEP PRESSURE
TRYKKFORDELING	PRESSURE DISTRIBUTION
FORBYGNING	SUPPORTING STRUCTURE