



Statens vegvesen

Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2582



Klima
og
transport



Geoteknikk- og skredseksjonen
Dato: 2009-08-21



Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2582

Tittel

Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Priska Heller og Lars Jenssen
Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU

Dato:

2009-08-21

Saksbehandler

Harald Norem

Prosjektnr:

601999

Kontrollert av

Jan Otto Larsen

Antall sider og vedlegg:

40

Sammendrag

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007-2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold. Gjennom samarbeid med Jernbaneverket er banetransport også inkludert.

Delprosjekt 4, som denne rapporten hører til, omfatter snø-, stein-, jord- og flomskred og ser på hvordan utløsning og frekvens av disse kan bli påvirket av endrede klimaforhold.

Flomskred følger ofte bekkefar, og bruer er derfor spesielt utsatt. Skred kan blokkere gjennomløp, eller treffe brua direkte. For å se hvordan flomskred passerer bruer er det gjennomført forsøk med en modell i målestokk ca 1:20. Studien undersøkte virkningen av ulik vinkel på ledevollene inn mot gjennomløpet og ulik bredde på gjennomløpet. De generelle observasjonene er at dess mindre vinkelen på ledevollene inn mot brugjennomløpet er, dess mindre blir oppskyllingen mot ledevollene. Senterbølgen under brua blir også mindre. Når bruåpningen reduseres så øker oppskyllingen og senterbølgen.

Rapporten beskriver hvordan forsøkene ble gjennomført og hva som ble målt. Forsøksresultatene må bearbeides videre før de kan brukes til utforming av bruer og gjennomløp.

Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D program "Climate and Transport", carried out by the Norwegian Public Roads Administration 2007-2010. The main objectives of the programme are to investigate the effect of climate change on the road network and recommend remedial actions concerning planning, design, construction and maintenance.

The work presented in this report is a part of project no. 4, Landslides and avalanches. The project deals with how the frequency and triggering factors can be influenced by climate change.

Debris slides often follow terrain forms like stream and creek channels, consequently making bridges vulnerable. The opening underneath the bridge is at risk of being blocked, and the bridge itself may be damaged. In order to study how debris slides occur, a model experiment in size 1:20 has been carried out. The experiment studied the effect of changing the angle between the dikes and the opening underneath the bridge, and the width of this opening. The general observation is that a smaller angle between the dikes and the slide reduces the flush run-up, while reducing the opening underneath the bridge will increase the flush run-up. This report describe how the experiments were carried out, and what measurements were done.

Emneord:

Klima og transport, flomskred, modellforsøk, brugjennomløp

Forord

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 – 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold.

Klimaforskningen konkluderer med at vi etter all sannsynlighet vil få endring til et varmere klima, som antas å føre til en økning i nedbørmengde og intensitet, parallelt med økt stormfrekvens og stormstyrke. Effektiviteten og sikkerheten av vegnettet påvirkes av nedbør, vind og temperaturforholdene. Dette er elementer som har innvirkning på steinsprang, fjellskred og snøskred, overflatevann, flom og erosjon, frysing og tining samt snø og is på vegbanen.

'Klima og transport' jobber etter beskrivelser av klimaendringer og deres effekt på transportsektoren slik de er nedfelt i følgende dokumenter:

- NTP-rapport ”Virkninger av klimaendringer for transportsektoren”, laget av en tverretattlig gruppe i transportsektoren: Jan Otto Larsen (leder) og Pål Rosland (sekretær), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjell Arne Skoglund, Jernbaneverket, Eivind Johnsen, Kystverket og Olav Mosvold Larsen, Avinor.
- Vedleggsrapport ”Regionale klimascenarier for transportsektoren i Norge - en oppdatering”, av Jan Erik Haugen og Jens Debernard, Det Norske Meteorologiske institutt, februar 2007. (Rapporten er basert på scenarier fra RegClim prosjektet.)
- ”Klima i Norge 2100”, utarbeidet for NOU Klimatilpassing av Meteorologisk institutt, Bjerknæssenteret, Nansensenteret, Havforskningsinstitutt og NVE, juni 2009.

'Klima og transport' består av følgende delprosjekter:

- Dp 1 Premisser og implementering
- Dp 2 Innsamling, lagring og bruk av data
- Dp 3 Flom- og erosjonssikring
- Dp 4 Snø-, stein-, jord- og flomskred
- Dp 5 Tilstandsutvikling på vegnettet
- Dp 6 Konsekvenser for vinterdrift
- Dp 7 Sårbarhet og beredskap

Prosjektleder for 'Klima og transport' er Gordana Petkovic og prosjektsekretær Reidun Svendsen. Mer informasjon om prosjektet: <http://www.vegvesen.no/klimaogtransport>

Delprosjekt 4, som denne rapporten hører til, omfatter snø-, stein-, jord-, flom- og kvikkleireskred, og hvordan utløsning og frekvens av disse kan bli påvirket av endrede klimaforhold. Ved utgivelsen av denne rapporten er delprosjektleder Jan Otto Larsen, Vegdirektoratet. For mer informasjon om delprosjekt 4, se vedlegg 1.

Denne rapporten er utarbeidet av Priska Heller og Lars Jenssen, Institutt for vann- og miljøteknikk, Faktultet for ingeniørvitenskap og teknologi ved NTNU.

For oversikt over tidligere andre rapporter fra 'Klima og transport', se vedlegg 2.

Tittel: Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller	Dato: 21. august 2009
	Rapportnummer: 48 – 1
	Prosjektnummer: 48
Utført av: <i>Priska Hiller, Lars Jenssen</i>	Prosjektleder: <i>Lars Jenssen</i>

Oppdragsgiver: Statens vegvesen	Kontakt: Harald Norem
Oppdragsgivers adresse: Vegdirektoratet Postboks 8142 Dep 0033 Oslo	Telefon: 73 95 46 89 Mobil: 913 20 385 harald.norem@vegvesen.no

Sammendrag

Flomskred følger ofte bekkefar, og bruer er derfor spesielt utsatt. Skredet kan blokkere gjennomløpet eller treffe brua direkte. Bruer bør derfor utformes slik at skredet passerer uhindret under brua. I forbindelse med Statens vegvesens prosjekt *Klima og transport*, delprosjekt *Flomskred*, ble det gjort en modellstudie av passering av flomskred under bruer.

Modellen var en prinsippmodell i målestokk ca. 1:20. Studien undersøkte virkningen av ulik vinkel på ledevollene inn mot gjennomløpet ($\beta = 10^\circ, 20^\circ$ og 30°) og ulik bredde av gjennomløpet ($B = 100, 200, 300$ og 400 mm). I tillegg ble virkningen av å doble skredvolumet og å redusere skredhastigheten undersøkt. Under forsøkene ble skredtykkelse, skredhastighet og oppskylling mot ledevollene målt.

De generelle observasjonene er at det mindre vinkelen β er, dess mindre blir oppskyllingen mot ledevollene. Senterbølgen under brua blir og mindre. Når bruåpningen, B , reduseres så øker oppskyllingen og senterbølgen. Større skredvolum gir høyere oppskylling. Skred som starter lavere, og som derfor har lavere hastighet, gir og høyere oppskylling.

Oppdraget omfattet ikke analyse og tolkning av data. Denne rapporten beskriver hvordan forsøkene ble gjennomført og hva som ble målt. Forsøksresultatene må bearbeides videre før de kan brukes til utforming av bruer og gjennomløp.

I tillegg til denne rapporten overleveres en DVD med videoopptakene fra forsøkene, og regneark med måldata.

Institutt for vann- og miljøteknikk
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
NTNU

Postadresse:
7491 Trondheim
Org. nr. 974 767

Besøksadresse:
S. P. Andersens vei 5

Telefon +47 73 59 47 51
Telefaks +47 73 59 12 98

Innhold

SYMBOL	1
INNLEDNING	1
METODE	2
VALG AV MODELL	2
MODELLEN	2
SKREDET	3
FORSØKSPROGRAMMET.....	3
MÅLEUTSTYR OG EVALUERING AV DATA	4
RESULTAT	6
DATA	6
PASSASJE AV SKRED.....	6
OPPSKYLLINGSHØYDEN (SIDEBØLGEN).....	7
SKREDFRONTENS BEVEGELSE	8
OBSERVASJONER FOR DE ULIKE OPPSTILLINGENE	9
KONKLUSJON	12
REFERANSER	13
VEDLEGG	14
DATA FRA FORSØKENE	14
SKISSER AV MODELLEN	30
SIKTEPRØVE.....	32

Figurer

Figur 1: Oversiktsbilde av modellen	3
Figur 2: Skredmateriale på millimeterpapir	3
Figur 3: Bilde av skred 26 ($B = 300$ mm, $\beta = 30^\circ$); sidebølgene øverst med inntegnet målestørrelser, senterbølgen i midten, og oversiktsbilde nederst.....	6
Figur 4: Skredfronten (skred 20).....	7
Figur 5: Oppskyllingshøyder.....	8
Figur 6: Posisjon - tid kurve for skredfronten.....	8
Figur 7: Effekt av ulike bruåpninger B og vinkler β	9
Figur 8: Avlagring i skred 42, sett mot høyre ledevoll rett oppstrøms brua	10
Figur 9: Sidebølgen i skred 55 slår opp til brudekket	11
Figur 10: Plan av modellen, dimensjoner i mm	30
Figur 11: Snitt av modellen, dimensjoner i mm.....	31

Tabeller

Tabell 1: Hovedforsøksprogrammet, kombinasjonene med "X" ble gjennomført	4
Tabell 2: Forsøksoversikt. Forsøk markert med grått ble ikke evaluert (f. eks. demonstrasjons- og blandingskred)	15

Symbol

Symbol	Enhet	Forklaring
<i>Variabler</i>		
a	mm	Posisjon av maksimal oppskylling for sidebølge målt fra nedstrøms ende av ledevoll. $a = 0$ når $x = 940$ mm. a måles langs ledevollen.
a_h	mm	a på høyre ledevoll.
a_v	mm	a på venstre ledevoll.
B	mm	Bredden av brua (lysåpning).
D_{xx}	mm	Kornstørrelse, xx % av materiale er mindre enn D_{xx}
h	mm	Oppskyllingshøyde mot ledevoll.
h_h	mm	Maksimal oppskyllingshøyde mot høyre ledevoll.
h_{hm}	mm	Gjennomsnittsoppskyllingshøyden mot høyre ledevoll over tre forsøk med samme oppstilling.
h_v	mm	Maksimal oppskyllingshøyde mot venstre ledevoll.
m	kg	Massen til skredet (faststoff og vann).
s	mm	Skredtykkelse
s_m	mm	Gjennomsnittlig skredtykkelse. Målt som gjennomsnittet av de fem største, påfølgende (videobilde) skredtykkelsene.
s_{maks}	mm	Maksimal skredtykkelse
s_s	mm	Skredtykkelsen til slutt, dvs. tykkelsen av avlagring
t	s	Tid
t_s	s	Referansetid for skredtykkelse
t_v	s	Referansetid for skredhastighet
v	m/s	Hastighet
v_m	m/s	Gjennomsnittshastighet
x	mm	Posisjon langs senterlinjen, $x = 0$ i overgang mellom renne og forsøksområde (knekken). I renna er $x < 0$.
x_s	mm	Startposisjonen til boksen, målt til nederste kant av boksen.
β	grader	Vinkelen mellom ledevollen og rennas senterlinje (retningen skredet kommer fra), målt i samme plan som <i>forsøksområdet</i> .
<i>Konstanter</i>		
g	m/s ⁻²	Tyngdens akselerasjon, $g = 9,81$ m/s ⁻²

Innledning

Det er i dag mange skader på veier på grunn av flomskred, og klimaendringer ventes å føre til økning av værforhold som kan utløse skred. Derfor er det et delprosjekt om vannrelaterte skred i Statens vegvesens prosjekt *Klima og transport*.

Gjennom det prosjektet fikk Vassdragslaboratoriet ved NTNU i Trondheim i oppdrag å gjøre en modellstudie av flomskred mot en bru med ledevoller. Målene med modellforsøkene var å undersøke:

1. Hvordan påvirker ledevoller skredet, f.eks. hvor høyt skyller bølgen opp på ledevollene?
2. Hvilken betydning har lysåpningen til brua for passering av skredet?

Oppdraget omfattet modellbygging, forsøk og rapportering, men ikke dataanalyse og tolkning. Forsøksresultatene må bearbeides videre før de kan brukes til dimensjonering av bruer utsatt for flomskred.

I tillegg til denne rapporten overleveres en DVD med videoopptakene fra forsøkene og regneark med måledata.

Metode

Valg av modell

Modellforsøk brukes til å studere komplekse prosesser, f.eks. sedimenttransport. Man kan bruke *skalamodeller*, som er eksakte kopier av virkelige konstruksjoner, f.eks. en liten modell av en bestemt bru, eller *prinsippmodeller*. En prinsippmodell er ikke kopi av en virkelig konstruksjon, men en modell for å undersøke en typisk situasjon.

Modellen i disse forsøkene er bygd som prinsippmodell, fordi det er enklere og gir resultat som kan overføres til liknende konstruksjoner. Fordi målet er generell kunnskap om utforming av bruer og ledevoller, er en prinsippmodell hensiktsmessig.

Modellen er bygget slik at målestokken er omtrent 1:20. Det ble valgt fordi modellen da passer greit inn i laboratoriet. Med mindre målestokk kunne skalaeffekter påvirket resultatet. Viskøse krefter hadde blitt for store, og i tillegg ville det vært vanskelig å finne passende skredmateriale. En vesentlig større modell ville blitt kostbar og upraktisk å bruke.

Fordi det er en prinsippmodell, er det mulig å anta at målestokken er større eller mindre enn 1 : 20, f. eks. 1: 25, og å regne modellverdier om til en annen prototyp.

Modellen

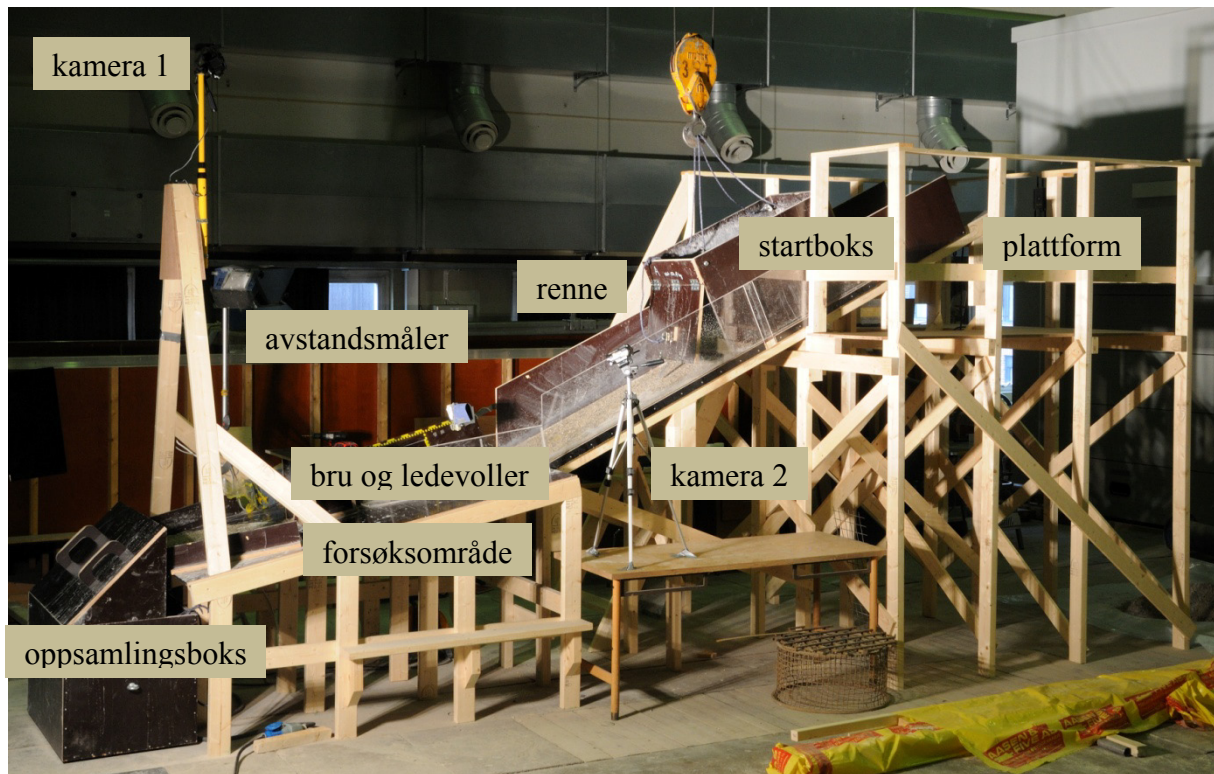
Skisse av modellen finnes i vedlegget. Figur 1 viser bilde av modellen i laboratoriet.

Modellen består av en renne som heller 25° i forhold til horisontal, og, nedstrøms renna, et forsøksområde med helling $11,3^\circ$ (1: 5). Dimensjonene finnes på skissene i vedlegget.

For å angi plassering i rennas lengderetning, brukes en x -akse lagt etter rennas senterlinje. Aksen er ikke horisontal, men har samme helling som den tilsvarende overflaten. $x = 0$ er i knekken mellom renna og forsøksområdet. Mot brua er retningen positiv. I renna er $x < 0$.

Oppstrøms kant av brua krysser skredløpet ved $x = 1000$ mm. Både brua (veggene i gjennomløpet) og fronten av ledevollene har helling 3:1. De er 250 mm høye, målt normalt på bunnen i forsøksområdet. Brua er 300 mm lang (i skredretningen) og ledevollene kan være inntil 1000 mm lange (justerbar). Nedstrøms ende av ledevollene er ved $x = 940$ mm, hvor innsnevringen til bruåpningen B er ferdig. Overgangen fra ledevollene til brua er dekket med en tynn metallplate.

To like bokser brukes til å starte og samle opp skredet. Skredet slippes fra en boks, som er plassert i renna, og samles opp i en boks som er plassert nedstrøms brua. For neste forsøk byttes plasseringen av kassene.



Figur 1: Oversiktsbilde av modellen

Skredet

Skredet veier $m = 74,5$ kg og består av 75 % faststoff og 25 % vann, målt i vektprosent. Skredvolumet var ca. 39 l.

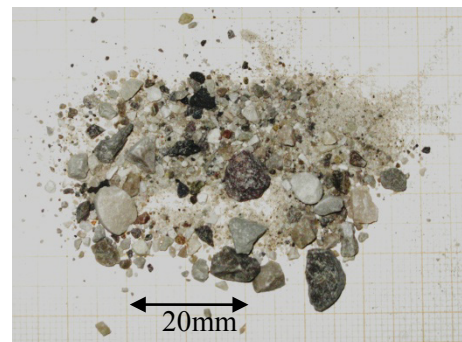
Skredmassen plasseres i startboksen. Nedstrøms kant av startboksen ble plassert ved $x = -1300$ mm. Før start blandes skredet med en drillmikser. Skredet startes ved å åpne en klapppluke i boksen.

Faststoffet i skredet består av en sand- og grusblanding, $D_{90} = 5,3$ mm og $D_{50} = 1,9$ mm. Kornene er kantet (Figur 2). Siktekurven finnes i vedlegget.

Forsøksprogrammet

I forsøkene ble bredden, B , av bruåpningen og vinkelen til ledevollene, β , variert som vist i Tabell 1. β er vinkelen mellom ledevollen og senterlinjen.

Vinkelen til ledevollene ble valgt ut fra retningslinjer for snøskred, som anbefaler β mindre enn $20 - 30^\circ$ (Margreth 2004).



Figur 2: Skredmateriale på millimeterpapir

Forholden mellom bredden av renna (skredløpet) og bruåpningen ble valgt slik at det passer med vanlige bruer i vegsystemet.

Forsøkene nummereres fortløpende med *skred + nr*, og begynner med skred 01. Det ble kjørt til sammen 55 skred. Skred 01 til og med skred 19 var innledende forsøk for å undersøke plassering av startboksen, skredblanding, etc.

Det ble gjort (minst) tre forsøk (repetisjoner) for hver oppstilling. Hvis skredet ble stående i kassen over natta eller lengre, så ble det først kjørt et *blandingsskred*. Hensikten var å få god omrøring av massene før forsøkene startet. Blandingsskredet ble målt, men dataene ble ikke evaluert.

Forsøksprogrammet ble bestemt i samarbeid med Harald Norem hos Statens vegvesen.

Tabell 1: Hovedforsøksprogrammet, kombinasjonene med "X" ble gjennomført

	B (mm)		
β (°)	200	300	400
10		X	
20	X	X	X
30		X	

I tillegg til forsøksprogrammet vist i Tabell 1, ble det kjørt tre tilleggsforsøk:

1. Mindre bruåpning ($B = 100$ mm, $\beta = 20^\circ$)
2. Mindre hastighet (start på $x = -500$ mm)
3. Større skredmasse (dobbel masse, $m = 149$ kg)

Forsøkene med mindre hastighet og større skredmasse ble kjørt med bruåpning $B = 300$ mm og $\beta = 20^\circ$.

Måleutstyr og evaluering av data

Under forsøkene ble følgende målt:

1. Skredhastighet
2. Skredtykkelse i senterlinjen
3. Oppskylling mot ledevollene.

Hastighet og oppskylling ble målt ved hjelp av video. Det ble filmer med to videokamera. Ett var plassert over modellen for å få oversikt. Nederste delen av renna, og forsøksområdet til og med brua, er på bildene.

Det andre kameraet filmet fra venstre inn mot forsøksområdet, med sikt mot ledevollen som har målelinjer påmalt. Kameraet filmet og displayet til ultralydsensoren, som måler skredtykkelsen.

Kameraposisjonene er vist i Figur 1. Videoene benyttes til å måle hastigheten, lage et tid-lengde profil for skredet, lese ultralydsensoren og for å se hvordan skredet oppfører seg. Videoen har en oppløsning på 25 *frames* per sekund, dvs. ett bilde hvert 40. millisekund. Under forsøkene ble brudekket fjernet for å få bedre bilder.

Skredhastigheten, v , måles ved hjelp av striper på tvers av senterlinjen, med avstand 100 mm. Posisjonen til skredfronten leses av på hver *frame*. Etterpå interpoleres lineært for å finne når skredet passerer posisjon $x = -500$ mm, $x = 0$ mm, $x = 500$ mm og $x = 900$ mm. Hastigheten v ble beregnet mellom disse posisjonene.

En ultralydsensor (avstandsmåler) måler tykkelsen, s , til skredet. Sensoren er plassert over forsøksområdets senterlinje, ved $x = 300$ mm. Her er ikke skredet påvirket av ledevollene. Sensoren leses vha. video. Tykkelsesprofilen til skredet i første 0,5 sekund ble tegnet opp. Fra

videoen registreres også maksimal skredtykkelse, s_{maks} , og tykkelsen av avlagringen, s_s , som ligger igjen etter at skredet har passert. Som midlere skredtykkelse, s_m , brukes middelveidien av de fem største, påfølgende skredtykkelser i tykkelsesprofilen.

Maksimal oppskyllingshøyde, h , og posisjonen for største oppskyllingshøyde, a , måles med målebånd og fra video. For å måle oppskyllingshøyden med video er det tegnet høydelinjer på fronten av ledevollene. Linjene er parallelle med bunnen i forsøksområdet (ikke horisontale).

Nullpunktet for måling av posisjon for maksimal oppskyllingshøyde, a , er nedstrøms hjørne av ledevollen, som ligger på $x = 940$ mm. h og a måles parallelt med ledevollen, dvs. h er 3:1 skrånet til vertikalen og a følger samme vinkelen β som ledevollen. h , a og s er vist i Figur 3.

Senket indeks angir ved hvilken side det er målt, med h for ”høyre” og v for ”venstre”, f.eks. er h_v maksimal oppskylling mot venstre ledevoll (sett mot nedstrøms).

I tillegg til video tas det et bilde med fotokamera av høyre ledevoll for å se det våte sporet av skredet, som viser profilen til bølgen.

Resultat

Data

Under gis et sammendrag av de viktigste observasjonene. Detaljer finnes i vedlegget.

Passasje av skred

Alle skred passerte brua og ingen *frøs* (stivnet i brugjennomløpet).

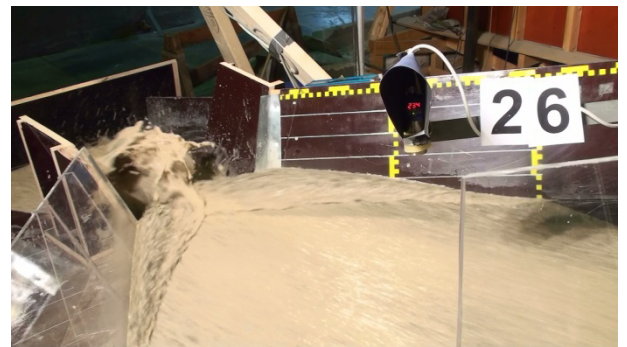
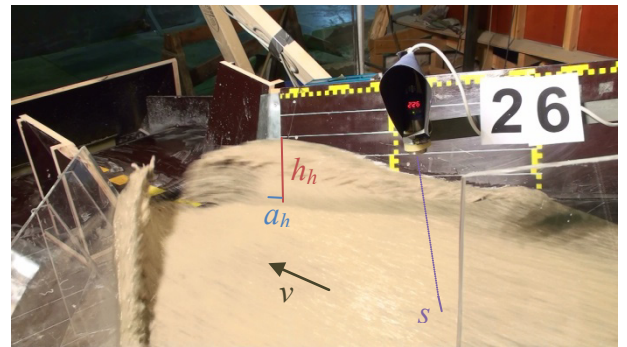
Figur 3 viser passasjen til skred 26, som er en vanlig skredpassasje. I tillegg er målestørrelsene h_h , a_h , v og s tegnet inn i bildet.

Skredet kommer ned renna, passerer knekken til forsøksområdet, og treffer deretter ledevollene. Skredet skyller opp på vollene. Bølgen mot ledevollen kaller vi *sidebølge*. Den stiger og faller deretter ned på den delen av skredet som beveger seg på bunnen. Der bølgene fra hver side møtes i midten, ved begynnelsen av brua, dannes det en høy bølge som vi kaller *senterbølge*.

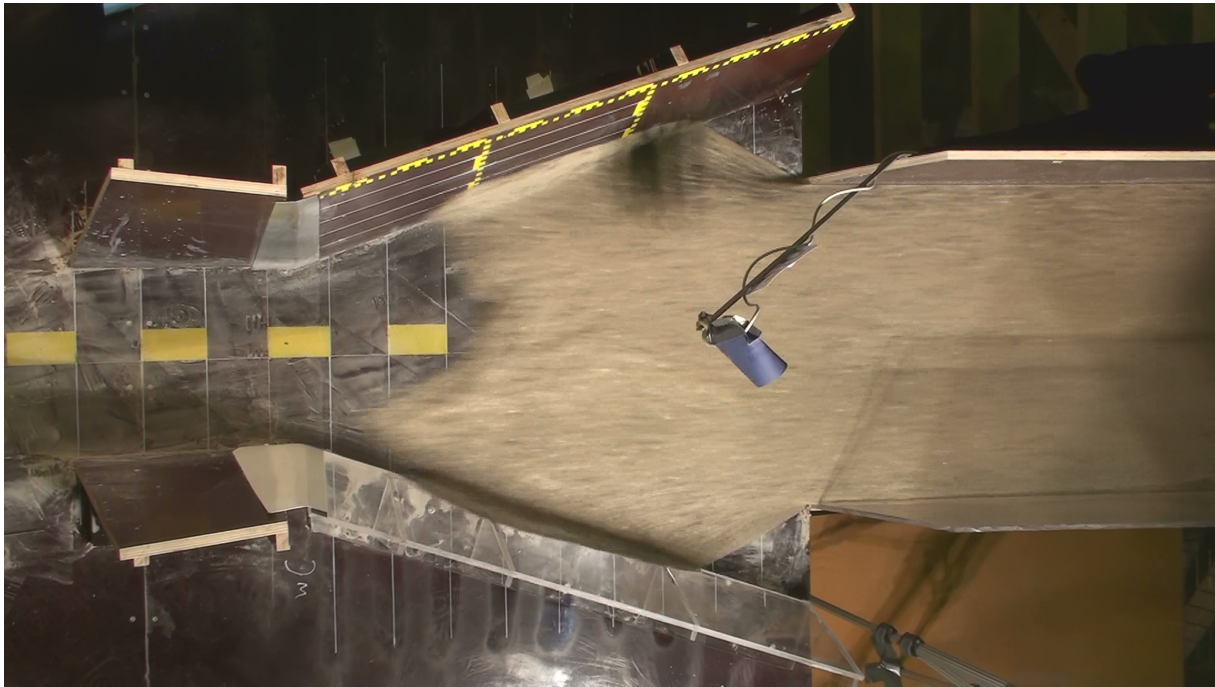
I mange av forsøkene beveget sidebølgene seg raskere enn midtre del av skredfronten. Figur 4 viser dette. Videoopptak viser at hastighetsforskjellen kan oppstå før skredet når ledevollene, men etter at det har forlatt renna. Grunnen til at hastighetsforskjellen oppstår ble ikke vurdert nærmere.

Avstandsmåleren registrerer skredtykkelsen s . Den viser vanligvis størst tykkelse nær skredfronten, for deretter å avta. Avlagringstykkelsen, etter at skredet har passert, er liten og avhenger av størrelsen på kornene som blir liggende igjen under måleren.

På grunn av varmen fra lyskasteren, og at overflaten av vollene er veldig glatt, er vannsporet bare synlig i kort tid. Det gjør at det er vanskelig å måle oppskyllingshøyden med målestav etter at skredet har passert. Derfor kontrolleres h_h og a_h på videobilde og korrigeres hvis nødvendig. Det er ikke mulig for h_v og a_v , som ikke er synlig på videoen.



Figur 3: Bilde av skred 26 ($B = 300$ mm, $\beta = 30^\circ$); sidebølgene øverst med inntegnet målestørrelser, senterbølgen i midten, og oversiktsbilde nederst.



Figur 4: Skredfronten (skred 20)

Oppskyllingshøyden (sidebølgen)

Figur 4 viser oppskyllingshøyden for de ulike oppstillingene. Figuren viser h_{hm} , som er gjennomsnittsverdien av h_h , for hver gruppe med tre forsøk med samme oppstilling.

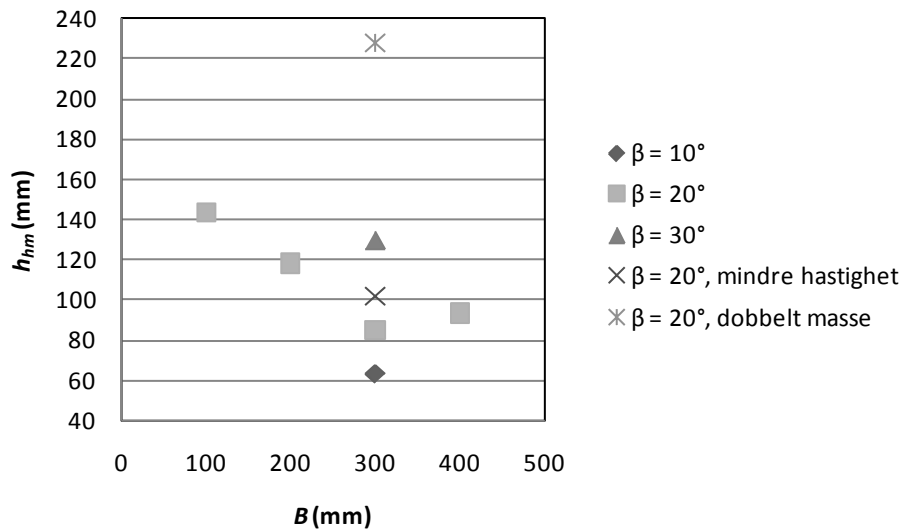
Sidebølgen når lavest opp når $\beta = 10^\circ$, da er $h_{hm} = 63$ mm. Når $\beta = 30^\circ$ når bølgen mer enn dobbelt så høyt, $h_{hm} = 130$ mm. Med $\beta = 20^\circ$ var gjennomsnittlig oppskylling, $h_{hm} = 85$ mm. Spennvidden av h -gjennomsnittsverdier på ulike β er dermed 67 mm.

Bredden av brugjennomløpet betyr mindre enn vinkelen til ledevollene. Med $B = 300$ mm fikk vi minst oppskylling, med $h_{hm} = 85$ mm. Med $B = 100$ mm fikk vi størst oppskylling med $h_{hm} = 143$ mm. Det gir en spennvidden i oppskyllingen på 58 mm. Oppskyllingen for $B = 200$ mm og $B = 400$ mm ligger mellom ytterpunktene over.

Skred med dobbelt masse ($m = 149,0$ kg) gir størst oppskylling, $h_{hm} = 228$ mm. Det er 268 % av oppskyllingen for tilsvarende forsøk med normal masse ($m = 74,5$ kg).

Forsøk med lavere skredhastighet gir noe større oppskylling enn tilsvarende skred med vanlig hastighet.

Selv for forsøk med lik oppstilling er det betydelig spredning av resultatene. Punktene i Figur 4 viser gjennomsnittet av tre forsøk med lik oppstilling.

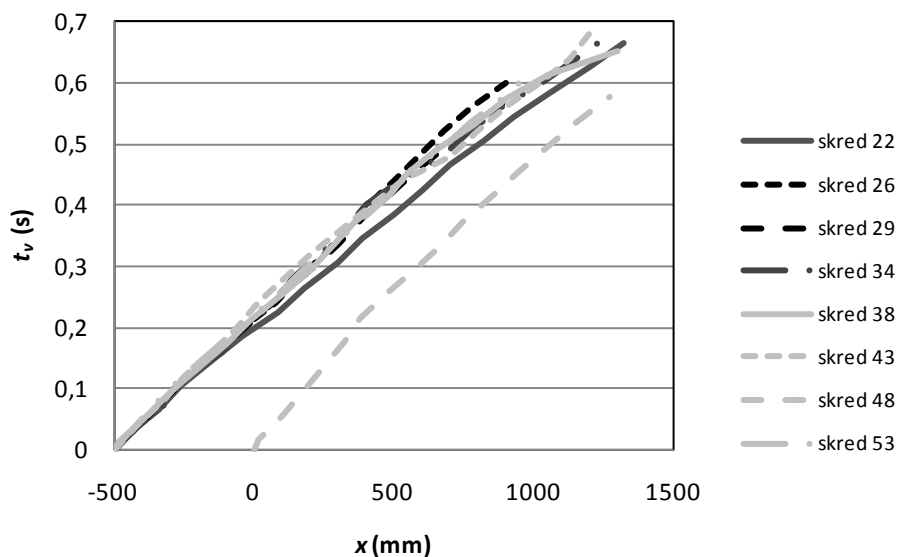


Figur 5: Oppskyllingshøyder

Skredfrontens bevegelse

Figur 5 viser hvordan fronten til skredet beveger seg nedstrøms. x er posisjonen langs rennas senterlinje målt fra video. t_v er tiden fra skredet passerte $x = -50$ ($x = 0$ for skred nummer 48). For figuren ble det valgt ut ett skred fra hver gruppe med lik oppstilling.

Alle skred beveger seg tilnærmet likt. Kurven for skred 48, som startet lengre ned i renna enn de andre skredene, ligger betydelig under de andre kurvene, men er nesten parallell med dem.



Figur 6: Posisjon - tid kurve for skredfronten



Skred 22: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$



Skred 38: $B = 200 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$



Skred 34: $B = 400 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$



Skred 43: $B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$



Skred 29: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 10^\circ$

Figur 7: Effekt av ulike bruåpninger B og vinkler β

Observasjoner for de ulike oppstillingene

De viktigste observasjoner for hver forsøksoppstilling er beskrevet under. Detaljer om enkeltskred finnes i vedlegg. Sammenlign beskrivelsen med bildene i Figur 6:

Skred 20 – 23 ($B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$)

Dette er basisoppstillingen og utgangspunkt for sammenligning, fordi B og β er i midten av parameterne som skal varieres (se tabell 1).

Skred 24 – 27 ($B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 30^\circ$)

Både sidebølgene og senterbølgen er høyere enn med $\beta = 20^\circ$. Det spruter mer. Høyeste oppskylling skjer nær brua. Passasje av skred 26 er vist som eksempel i Figur 3.

Skred 28 – 30 ($B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 10^\circ$)

Lav oppskylling. Skredet passerer brua helt fint. Det er bare en liten senterbølge. Høyeste oppskylling finnes rett ved oppstrøms ende av ledevollene, der skredet treffer først. Sidebølgen er der omtrent 100 mm høy.

Skred 31 – 34 ($B = 400 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$)

Skredet passerer brua helt fint. På grunn av den store åpningen er det bare en liten senterbølge. Maksimal oppskylling skjer rett oppstrøms brua og ikke der skredet treffer vollen.

Skred 35 – 38 ($B = 200 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$)

Senterbølgen under brua spruter høyt, ca. til brudekket.

Skred 39 – 45 ($B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$)

Den lille åpningen førte til mye sprut, men skredet *frøs* ikke. Det sprutet i alle retninger og tydelig høyere enn brua.

I senterlinjen har de tre skredene ganske lik profil. Oppskyllingshøyden sprer mer. Sidebølgene krysser hverandre og treffer vollene på motsatt side. Det forårsaker en høy senterbølge og mye sprut.

I skred 42 observeres avlagring av masse oppstrøms brua tidlig i skredforløpet. Massen eroderes i løpet av siste del av skredet, se Figur 7.



Figur 8: Avlagring i skred 42, sett mot høyre ledevoll rett oppstrøms brua

Skred 46 – 50 ($B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, lavere hastighet)

Skredet startes på $x = -500 \text{ mm}$. På grunn av det relateres tiden i Figur 5 til tidspunktet når skredet passerer knekken ($x = 0$).

Det dannes bare en liten senterbølge. Skredet er tykkere enn i forsøkene med høyere hastighet.

Skred 52 – 55 ($B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, dobbelt masse)

Skredet er dobbelt så tykt som i forsøkene med normal masse. Avlagring etterpå er i samme størrelsesorden som før. Høyeste oppskylling er ved nedstrøms enden av ledevollene. I skred 53 og 55 slår bølgen litt over brua, se Figur 8.

Alle tre skred har litt tørr masse i midten, før det kommer godt blandet materiale. Det skyldes at det var vanskelig å få tilstrekkelig omrøring før skredet utløses.



Figur 9: Sidebølgen i skred 55 slår opp til brudekket

Konklusjon

Dette prosjektet omfattet bygging av modell, kjøring av et forsøksprogram og rapportering av data. Det er ikke gjort noen omfattende dataanalyse, f.eks. sammenlikning mellom observert oppskylling og formler for å beregne oppskyllingshøyden. For videre analyse henvises det til data i vedlegg.

De generelle observasjonene fra forsøkene er at det mindre vinkelen β er, dess mindre blir oppskyllingen mot ledevollene. Senterbølgen under brua blir og mindre. Når bruåpningen, B , reduseres så øker oppskyllingen og senterbølgen. Større skredvolum gir høyere oppskylling. Skred som starter lavere, og som derfor har lavere hastighet, gir og høyere oppskylling.

Andre forhold, f.eks. vanninnholdet i massen, har sannsynligvis stor betydning for hvordan skredet passerer. Det bør undersøkes videre.

Referanser

Margreth, S. (2004). Avalanche control structures.

Vedlegg

Vedlegget inneholder:

1. Data fra forsøkene
2. Skisse av modellen
3. Sikteprøve for skredmassen

Data fra forsøkene

Forsøksdataene er organisert som følger:

1. En oversiktstabell Tabell 2 som viser de viktigste opplysningene om hvert forsøk.
2. Spesielle kommentarer, skredprofil og skredhastighet for forsøkene som ble *evaluert*.

Evaluert vil si at oppskyllingshøyden ble kontrollert på video og at skredprofil og skredfronten ble beregnet. Flere skred ble ikke *evaluert*, f.eks. skred som var demonstrasjoner eller skred for å røre om massene. De er vist med grått i Tabell 2.

Symbolene er forklart i symbollisten. Hvordan verdiene ble målt er beskrevet i kapittel ”Måleutstyr og evaluering av data”. Forsøkene før skred nummer 20 ble kjørt for å teste oppstillingen, og er ikke dokumentert her.

Hastighetene bør brukes med forsiktighet, fordi det var vanskelig å måle posisjonen til skredet nøyaktigere enn 20 – 30 mm. Hastigheten, beregnes fra skredposisjonen og er derfor følsom for feil i posisjonsbestemmelsen.

Video av forsøkene ligger på vedlagte DVD.

Tabell 2: Forsøksoversikt. Forsøk markert med grått ble ikke evaluert (f. eks. demonstrasjons- og blandingskred)

skrednummer	dato	tid	skred			oppstilling			bølge høyre		bølge venstre		skredtykkelse		
			masse	sand	vann	vinkel	bru	start	høyde	posisjon	høyde	posisjon	maks	middel	slutt
-	dd.mm.yy	hh:mm	kg	%	%	°	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
01 - 19 kjørtes som testforsøk															
20	18/05/09	14:35	74.6	74.9	25.1	20	300	-1300	110	-	127	105			
21	18/05/09	15:00	74.4	75.1	24.9	20	300	-1300	89	90	110	120	25	23.4	2
22	18/05/09	15:20	74.1	75.4	24.6	20	300	-1300	96	110	104	85	19	18.6	4
23	18/05/09	15:40	73.8	75.7	24.3	20	300	-1300	70	110	120	110	19	18.4	4
24	20/05/09	11:00	74.5	75	25	30	300	-1300	155	-	220	75			
25	20/05/09	11:20	74.5	75	25	30	300	-1300	110	80	175	65	24	22.6	2
26	20/05/09	11:35	74.5	75	25	30	300	-1300	150	30	140	70	23	21.6	5
27	20/05/09	11:55	74.5	75	25	30	300	-1300	130	35	150	45	26	23.8	5
28	20/05/09	14:45	74.5	75	25	10	300	-1300	60	70	55	70	15	14.8	5
29	20/05/09	15:15	74.5	75	25	10	300	-1300	70	85	60	70	20	18.8	3
30	20/05/09	15:35	74.5	75	25	10	300	-1300	60	100	60	65	26	22.6	5
31	25/05/09	15:30	74.5	75	25	20	400	-1300	95	-	80	170			
32	25/05/09	15:45	74.5	75	25	20	400	-1300	80	105	115	110	22	19.2	3
33	25/05/09	16:05	74.5	75	25	20	400	-1300	100	0	105	60	26	24.8	7
34	25/05/09	16:25	74.5	75	25	20	400	-1300	100	0	105	110	23	20.2	3
35	26/05/09	10:15	74.5	75	25	20	200	-1300	120	290	140	-			
36	26/05/09	10:35	74.5	75	25	20	200	-1300	110	300	110	80	21	20	5
37	26/05/09	10:50	74.5	75	25	20	200	-1300	125	300	-	-	26	24.8	6
38	26/05/09	11:10	74.5	75	25	20	200	-1300	120	320	-	-	27	26	4
39	28/05/09	14:00	74.5	75	25	20	100	-1300	-	-	-	-			
40	28/05/09	14:30	74.5	75	25	20	100	-800	-	-	-	-			
41	29/05/09	9:35	74.5	75	25	20	100	-1300	-	-	-	-			
42	29/05/09	9:50	74.5	75	25	20	100	-1300	180	300	170	330	24	23.4	5
43	29/05/09	10:15	74.5	75	25	20	100	-1300	100	300	-	-	23	22.2	4
44	29/05/09	10:35	74.5	75	25	20	100	-1300	150	370	160	370	23	22	5
45	29/05/09	11:55	72.5	77	23	20	100	-1300	-	-	-	-			
46	11/06/09	10:10	73.9	75.6	24.4	20	300	-500	100	540	105	500			
47	15/06/09	10:40	74.4	75	25	20	300	-500	95	200	115	160			
48	15/06/09	10:55	74.5	75	25	20	300	-500	110	300	120	220	31	30	4
49	15/06/09	11:15	74.5	75	25	20	300	-500	115	250	130	350	46	44.6	5
50	15/06/09	11:30	74.5	75	25	20	300	-500	80	170	115	40	27	25.6	1
51	15/06/09	13:00	112	75	25	20	300	-1300	215	75	190	45			
52	15/06/09	13:30	149	75	25	20	300	-1300	245	25	220	150			
53	15/06/09	13:50	149	75	25	20	300	-1300	>265	0	265	110	57	47.8	3
54	15/06/09	14:05	149	75	25	20	300	-1300	200	0	200	30	45	44	3
55	15/06/09	14:30	149	75	25	20	300	-1300	220	0	>265	0	46	44.4	5

Skred 20: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Blandingskred (hensikt; omrøring av skredmassen)

Skred 21: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Skredprofilen er forskjellig sammenlignet med 22 og 23. Maksimale verdier er høyere.

tid	referansetid for skredrykkelse	skredrykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,4	0	0
3,44	0,04	4
3,48	0,08	16
3,52	0,12	17
3,56	0,16	20
3,6	0,2	24
3,64	0,24	25
3,68	0,28	24
3,72	0,32	23
3,76	0,36	21
3,8	0,4	18
3,84	0,44	17
3,88	0,48	16
3,92	0,52	14

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,207	0	2,42
0,420	500	2,34
0,547	900	3,16

Skred 22: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

tid	referansetid for skredrykkelse	skredrykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,76	0	0
2,8	0,04	2
2,84	0,08	9
2,88	0,12	16
2,92	0,16	16
2,96	0,2	15
3	0,24	16
3,04	0,28	19
3,08	0,32	19
3,12	0,36	19
3,16	0,4	19
3,2	0,44	17
3,24	0,48	16
3,28	0,52	15

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,197	0	2,53
0,385	500	2,66
0,534	900	2,68

Skred 23:

$B = 300 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,52	0	0
3,56	0,04	2
3,6	0,08	5
3,64	0,12	11
3,68	0,16	16
3,72	0,2	16
3,76	0,24	17
3,8	0,28	18
3,84	0,32	19
3,88	0,36	19
3,92	0,4	18
3,96	0,44	18
4	0,48	17
4,04	0,52	15

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,191	0	2,62
0,366	500	2,86
0,499	900	3,02

Skred 24: $B = 300 \text{ mm}, \beta = 30^\circ$

Blandingsskred.

Skred 25: $B = 300 \text{ mm}, \beta = 30^\circ$

Skredet har tre fronter. Den til venstre er raskest. Oppskyllingshøyden til venstre er 65 mm høyere enn til høyre.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,16	0	0
3,2	0,04	3
3,24	0,08	15
3,28	0,12	21
3,32	0,16	23
3,36	0,2	23
3,4	0,24	24
3,44	0,28	22
3,48	0,32	21
3,52	0,36	21
3,56	0,4	21
3,6	0,44	19
3,64	0,48	18
3,68	0,52	16

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,217	0	2,30
0,404	500	2,68
0,542	900	2,90

Skred 26: $B = 300 \text{ mm}, \beta = 30^\circ$

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,36	0	0
3,4	0,04	4
3,44	0,08	15
3,48	0,12	22
3,52	0,16	23
3,56	0,2	21
3,6	0,24	21
3,64	0,28	21
3,68	0,32	21
3,72	0,36	19
3,76	0,4	20
3,8	0,44	19
3,84	0,48	17
3,88	0,52	17

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,213	0	2,34
0,440	500	2,21
0,600	900	2,50

Skred 27: $B = 300 \text{ mm}, \beta = 30^\circ$

Det ble forsøkt med millimeterpapir for å måle maksimal oppskylling. Det var ikke lettere å måle på den måten. Millimeterpapir ble derfor ikke brukt videre.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,56	0	0
3,6	0,04	10
3,64	0,08	22
3,68	0,12	26
3,72	0,16	25
3,76	0,2	23
3,8	0,24	23
3,84	0,28	22
3,88	0,32	23
3,92	0,36	23
3,96	0,4	21
4	0,44	19
4,04	0,48	17
4,08	0,52	15

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,231	0	2,17
0,435	500	2,45
0,580	900	2,75

Skred 28: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 10^\circ$

Liten skredtykkelse sammenlignet med 29 og 30.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,64	0	0
3,68	0,04	2
3,72	0,08	6
3,76	0,12	11
3,8	0,16	14
3,84	0,2	15
3,88	0,24	15
3,92	0,28	14
3,96	0,32	14
4	0,36	15
4,04	0,4	15
4,08	0,44	15
4,12	0,48	15
4,16	0,52	14

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,196	0	2,55
0,390	500	2,58
0,554	900	2,43

Skred 29: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 10^\circ$

Ca. 0,5 l masse ble liggende i startboksen.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,8	0	0
2,84	0,04	3
2,88	0,08	12
2,92	0,12	19
2,96	0,16	20
3	0,2	20
3,04	0,24	18
3,08	0,28	17
3,12	0,32	18
3,16	0,36	18
3,2	0,4	18
3,24	0,44	18
3,28	0,48	7
3,32	0,52	16

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,210	0	2,38
0,421	500	2,36
0,570	900	2,69

Skred 30: $B = 300 \text{ mm}, \beta = 10^\circ$

Ca. 0,5 l masse ble liggende i startboksen. Sammenlignet med 28 og 29 har skredet høy front.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,96	0	0
3	0,04	2
3,04	0,08	11
3,08	0,12	26
3,12	0,16	25
3,16	0,2	22
3,2	0,24	21
3,24	0,28	19
3,28	0,32	20
3,32	0,36	19
3,36	0,4	18
3,4	0,44	18
3,44	0,48	16
3,48	0,52	15

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,221	0	2,26
0,433	500	2,35
0,593	900	2,50

Skred 31: $B = 400 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

Blandingsskred.

Skred 32: $B = 400 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

To fronter, den til venstre er raskere.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,44	0	0
3,48	0,04	8
3,52	0,08	20
3,56	0,12	22
3,6	0,16	21
3,64	0,2	17
3,68	0,24	16
3,72	0,28	17
3,76	0,32	18
3,8	0,36	19
3,84	0,4	19
3,88	0,44	19
3,92	0,48	18
3,96	0,52	17

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,207	0	2,41
0,435	500	2,20
0,555	900	3,33

Skred 33: $B = 400 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

Ca. 0,5 l massen ble liggende i startboksen. Frontprofilen er høyere enn 32 og 34.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,68	0	0
2,72	0,04	
2,76	0,08	12
2,8	0,12	21
2,84	0,16	26
2,88	0,2	26
2,92	0,24	24
2,96	0,28	24
3	0,32	24
3,04	0,36	22
3,08	0,4	21
3,12	0,44	19
3,16	0,48	16
3,2	0,52	15

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,225	0	2,22
0,425	500	2,50
0,548	900	3,24

Skred 34: $B = 400 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,2	0	0
3,24	0,04	9
3,28	0,08	21
3,32	0,12	23
3,36	0,16	20
3,4	0,2	19
3,44	0,24	18
3,48	0,28	18
3,52	0,32	17
3,56	0,36	17
3,6	0,4	18
3,64	0,44	18
3,68	0,48	19
3,72	0,52	18

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,215	0	2,32
0,433	500	2,29
0,563	900	3,09

Skred 35: $B = 200 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

Blandingskred.

Skred 36: $B = 200 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Lavere front enn 37 og 38.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,12	0	0
3,16	0,04	1
3,2	0,08	12
3,24	0,12	17
3,28	0,16	18
3,32	0,2	18
3,36	0,24	18
3,4	0,28	21
3,44	0,32	21
3,48	0,36	21
3,52	0,4	19
3,56	0,44	16
3,6	0,48	15
3,64	0,52	14

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,204	0	2,45
0,385	500	2,76
0,513	900	3,14

Skred 37: $B = 200 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Fordi den venstre ledevollen var varm fra lyskasteren, tørket sporet til bølgen altfor raskt, derfor er bølgen ikke målt.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,48	0	0
3,52	0,04	8
3,56	0,08	17
3,6	0,12	25
3,64	0,16	26
3,68	0,2	25
3,72	0,24	25
3,76	0,28	23
3,8	0,32	22
3,84	0,36	22
3,88	0,4	21
3,92	0,44	20
3,96	0,48	18
4	0,52	17

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,217	0	2,30
0,417	500	2,50
0,577	900	2,50

Skred 38: $B = 200 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Sidebølgen på den venstre ledevollen ble ikke målt (forklaring se 37).

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,92	0	0
2,96	0,04	2
3	0,08	13
3,04	0,12	22
3,08	0,16	24
3,12	0,2	25
3,16	0,24	26
3,2	0,28	27
3,24	0,32	27
3,28	0,36	25
3,32	0,4	23
3,36	0,44	22
3,4	0,48	20
3,44	0,52	18

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,217	0	2,31
0,424	500	2,41
0,573	900	2,69

Skred 39: $B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Demonstrasjonsforsøk.

Skred 40: $B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Demonstrasjonsforsøk.

Skred 41: $B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Blandingskred.

Skred 42: $B = 100 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

Skredmaterialet begynner å bygge seg opp under brua, men strømmingen er for sterk og materialet, som har avlagret seg, blir delvis vasket borte av siste del av skredet. Den tykkeste avlagringen er 25 mm.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,56	0	0
3,6	0,04	3
3,64	0,08	14
3,68	0,12	20
3,72	0,16	22
3,76	0,2	22
3,8	0,24	22
3,84	0,28	24
3,88	0,32	24
3,92	0,36	24
3,96	0,4	23
4	0,44	22
4,04	0,48	20
4,08	0,52	17

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,215	0	2,33
0,378	500	3,07
0,503	900	3,19

Skred 43: $B = 100 \text{ mm}, \beta = 20^\circ$

Ingen oppbygging av skredmasse observert (jfr. skred 42).

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,2	0	0
3,24	0,04	7
3,28	0,08	14
3,32	0,12	20
3,36	0,16	18
3,4	0,2	22
3,44	0,24	23
3,48	0,28	22
3,52	0,32	22
3,56	0,36	22
3,6	0,4	19
3,64	0,44	18
3,68	0,48	16
3,72	0,52	14

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,230	0	2,17
0,429	500	2,51
0,560	900	3,06

Skred 44: $B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$

Kjøres med brudekket på.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,12	0	0
3,16	0,04	13
3,2	0,08	19
3,24	0,12	23
3,28	0,16	23
3,32	0,2	21
3,36	0,24	21
3,4	0,28	22
3,44	0,32	23
3,48	0,36	23
3,52	0,4	22
3,56	0,44	21
3,6	0,48	19
3,64	0,52	17

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,209	0	2,39
0,400	500	2,62
0,520	900	3,33

Skred 45: $B = 100 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, mindre vann

Undersøkte om skredet ville fryse, men det passerte gjennomløpet (2 l mindre vann).

Skred 46: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, lavere hastighet

Blandingskred. Klappen lukker ikke lengre tett og må repareres. I tillegg trakk boksen vann og ble tyngre. Derfor ble skred 46 kjørt med mindre vann.

Skred 47: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, lavere hastighet

Blandingskred.

Skred 48: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, lavere hastighet

Avstandsmåleren pendler litt på grunn av klappen, som åpnes så nær. Pendlingen er ikke synlig på måleresultatene.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,96	0	0
3	0,04	1
3,04	0,08	12
3,08	0,12	22
3,12	0,16	28
3,16	0,2	29
3,2	0,24	28
3,24	0,28	29
3,28	0,32	30
3,32	0,36	31
3,36	0,4	31
3,4	0,44	29
3,44	0,48	26
3,48	0,52	25

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,000	0	
0,264	500	1,89
0,434	900	2,36

Skred 49: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, lavere hastighet

15 mm høyere front en 48 og 50. Ca. 0,5 l ble liggende i startboksen.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,52	0	0
3,56	0,04	9
3,6	0,08	44
3,64	0,12	44
3,68	0,16	46
3,72	0,2	45
3,76	0,24	44
3,8	0,28	41
3,84	0,32	35
3,88	0,36	32
3,92	0,4	29
3,96	0,44	24
4	0,48	20
4,04	0,52	19

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,000	0	
0,287	500	1,74
0,460	900	2,31

Skred 50: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, lavere hastighet

Avstandsmåleren pendler. På høyre side dannes en 200 mm høy bølge 500 mm oppstrøms brua. Årsaken er ikke klar, men henger sannsynligvis sammen med ujevn fordeling av skredet i startboksen.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,68	0	0
3,72	0,04	12
3,76	0,08	15
3,8	0,12	20
3,84	0,16	23
3,88	0,2	25
3,92	0,24	27
3,96	0,28	25
4	0,32	25
4,04	0,36	25
4,08	0,4	26
4,12	0,44	25
4,16	0,48	25
4,2	0,52	24

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,000	0	
0,269	500	1,86
0,449	900	2,22

Skred 51: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, 150 % masse

Test med 150 % masse. Forsøket gikk greit derfor økes massen til 200 % i neste forsøk.

Skred 52: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, 200 % masse

Blandingskred.

Skred 53: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, 200 % masse

Fronten kommer som en blokk med veldig spiss profil. I midten er det en del tørr masse, vannet kommer litt forsinket.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,24	0	0
3,28	0,04	10
3,32	0,08	19
3,36	0,12	49
3,4	0,16	57
3,44	0,2	51
3,48	0,24	38
3,52	0,28	44
3,56	0,32	40
3,6	0,36	38
3,64	0,4	35
3,68	0,44	30
3,72	0,48	26
3,76	0,52	22

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,219	0	2,28
0,425	500	2,43
0,579	900	2,60

Skred 54: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, 200 % masse

Skyller ikke så høyt som 53 og 55, og ikke over brua.

tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
3,6	0	0
3,64	0,04	8
3,68	0,08	19
3,72	0,12	43
3,76	0,16	45
3,8	0,2	43
3,84	0,24	44
3,88	0,28	45
3,92	0,32	43
3,96	0,36	41
4	0,4	40
4,04	0,44	35
4,08	0,48	30
4,12	0,52	25

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,207	0	2,41
0,409	500	2,48
0,578	900	2,37

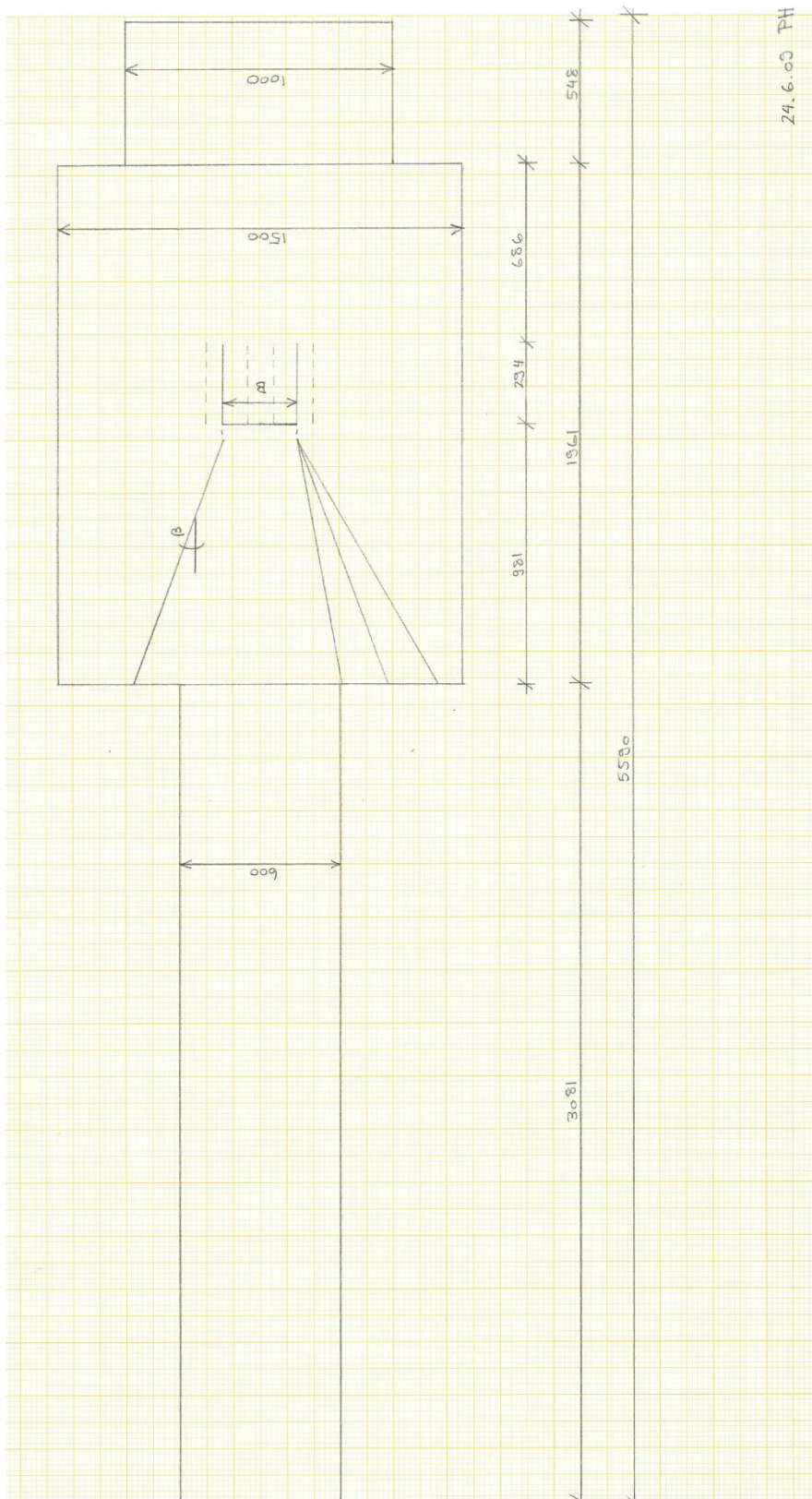
Skred 55: $B = 300 \text{ mm}$, $\beta = 20^\circ$, 200 % masse

Kjøres med brudekket på. Oppskyllingsbølgen slår litt over brua, på venstre side.

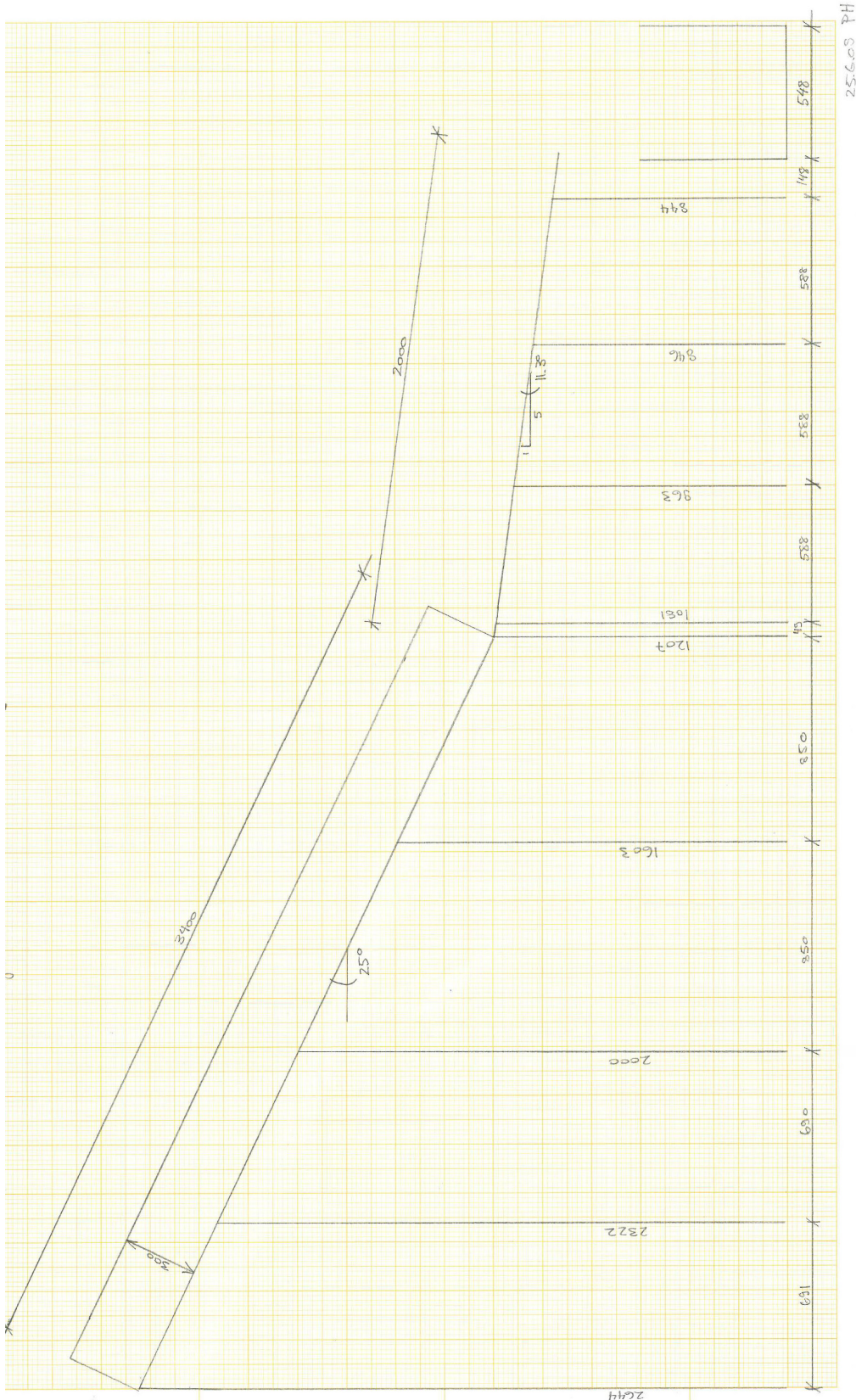
tid	referansetid for skredtykkelse	skredtykkelse
t	t_s	s
s	s	mm
2,96	0	0
3	0,04	4
3,04	0,08	21
3,08	0,12	46
3,12	0,16	45
3,16	0,2	46
3,2	0,24	44
3,24	0,28	41
3,28	0,32	39
3,32	0,36	38
3,36	0,4	30
3,4	0,44	29
3,44	0,48	27
3,48	0,52	24

referansetid for skredhastighet	posisjon til skredfronten	gjennomsnittshastighet
t_v	x	v_m
s	mm	m/s
0	-500	
0,209	0	2,39
0,402	500	2,59
0,549	900	2,73

Skisser av modellen



Figur 10: Plan av modellen, dimensjoner i mm



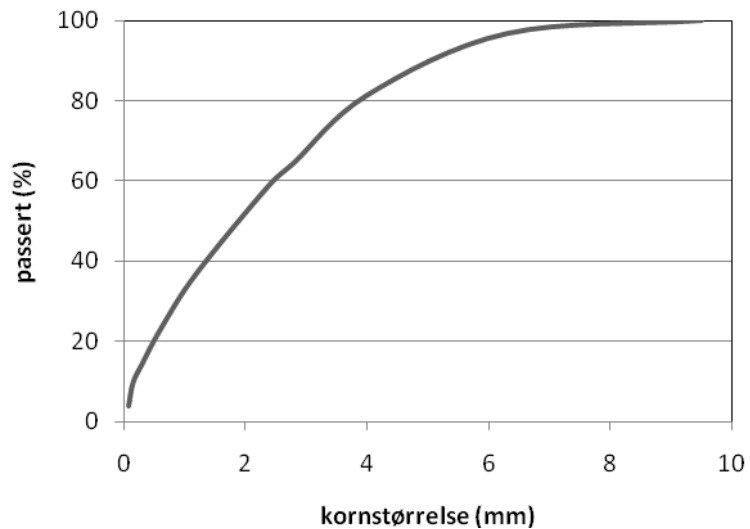
Figur 11: Snitt av modellen, dimensjoner i mm

Sikteprøve

Dato: 24.06.2009
Navn: Priska Hiller

Startmasse: 1690,5 g
Prøven ble ristet automatisk i 12 min.

De lineært interpolerte karakteristiske kornstørrelsene er:
 $D_{10} = 0,2$ mm, $D_{50} = 1,9$ mm, $D_{60} = 2,5$ mm, $D_{90} = 5,3$ mm



siktåpning (mm)	innveide masser (g)	sum masser (g)	% passert (%)
9,5	0	0	100,0
6,3	54,6	54,6	96,8
4	259,8	314,4	81,4
2,8	284	598,4	64,6
2,36	103,2	701,6	58,5
1,18	368,6	1070,2	36,7
0,6	231,4	1301,6	23,0
0,3	145,1	1446,7	14,4
0,15	78,7	1525,4	9,8
0,075	100,5	1625,9	3,8
<0,075	64,5	1690,4	0,0



Vedlegg 1

Delprosjekt 4 Snø-, stein-, jord- og flomskred

Delprosjektet skal omfatte snø-, stein-, jord-, flom- og kvikkleireskred, og hvordan utløsningen og frekvensen av disse kan bli påvirket av endrede klimaforhold.

En hovedoppgave er å se på hvordan skredrisiko skal håndteres, og hvor stor skredrisiko som kan aksepteres på vegnettet. Dette vil få konsekvenser for skredsikringsplaner og skredvarsling på utsatte vegstrekninger.

For å få et godt grunnlag for varsling av skred må man få en bedre forståelse av sammenhenger mellom vær og ulike skredtyper. Delprosjektet arbeider med å finne ut om eksisterende skredutsatte strekninger får endrede skredforhold og om nye områder kan bli skredutsatt. Disse dataene må være lett tilgjengelig for videre analyser for å kunne foreta riktig prioritering av skredsikringstiltak i framtida. Skredsikringstiltakene må dimensjoneres ut fra retningslinjer som tar hensyn til de enkelte skredtyper.

Målet for prosjektet vil være å få oversikt over behov for skredsikringstiltak, og et verktøy som kan brukes i dimensjonering og prioritering. Retningslinjer og håndbøker bør danne grunnlag for dimensjonering og utforming av tiltak, og alt materialet må gjøres lett tilgjengelig for å kunne fatte politiske beslutninger.

Delprosjektet organiseres i følgende aktiviteter:

- 4-1 Skredrisiko
- 4-2 Skredsikring og prioriteringsmodell
- 4-3 Skredsikringstiltak
- 4-4 Kvikkleireskred
- 4-5 Vannrelaterte skredtyper

Vannrelaterte skredtyper

Denne rapporten tilhører delaktiviteten som omhandler vannrelaterte skredtyper som fokuserer på sørpeskred og flomskred. Begge disse skredtypene opptrer ved store nedbørsmengder. Flere forhold ved disse skredtypene er lite kjent, og det er derfor valgt å skille ut vannrelaterte skred med fokus på disse to.

De viktigste oppgavene vil være å utrede bevegelsesmønstre for å lokalisere eksponerte områder og dimensjonering og utforming av sikringstiltak.

Vedlegg 2



Prosjektrapporter fra 'Klima og transport'

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lurfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk
2520	Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2542	Status og problemstillinger for grusvegnettet ved endret klima	Per Otto Aursand og Joralf Aurstad, Statens vegvesen og Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS
2566	Pilotprosjekt på stikkrenner E136 Dombås Ålesund	Kristine Flesjø og Hilde Hestangen, Statens vegvesen, Than Ngan Nguyen, NTNU student
2573	Rensing av overvann fra vei i fremtidens klima, 2071-2100	Thorkild Hvitved-Jacobsen, Jes Vollertsen og Svein Ole Åstebøl, COWI



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005