



# LUND UNIVERSITY

## Rivning av betongblock

### Stelkroppssimulering, överslagsberäkningar och diskussion

Austrell, Per Erik

2004

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Austrell, P. E. (2004). *Rivning av betongblock: Stelkroppssimulering, överslagsberäkningar och diskussion*. (TVSM-7000; Nr. TVSM-7138). Division of Structural Mechanics, LTH.

*Total number of authors:*

1

#### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

#### Take down policy

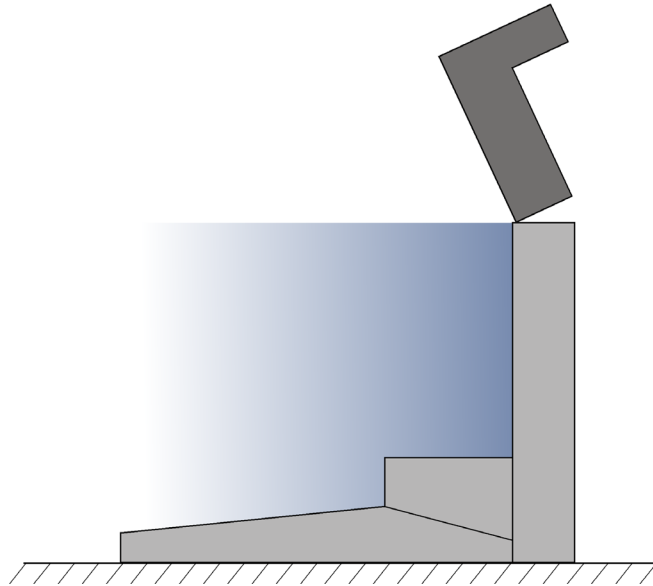
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



**LUND**  
UNIVERSITY



# **RIVNING AV BETONGBLOCK - STELKROPPSSIMULERING, ÖVERSLAGSBERÄKNINGAR OCH DISKUSSION**

PER-ERIK AUSTRELL

---

Structural  
Mechanics

---



*Department of Construction Sciences*  
Structural Mechanics

ISRN LUTVDG/TVSM--04/7138--SE (1-13)  
ISSN 0281-6679

RIVNING AV BETONGBLOCK  
- STELKROPPSSIMULERING,  
ÖVERSLAGSBERÄKNINGAR  
OCH DISKUSSION

PER-ERIK AUSTRELL

Copyright © 2004 by Structural Mechanics, LTH, Sweden.  
Printed by KFS i Lund AB, Lund, Sweden, May 2004.

For information, address:  
Division of Structural Mechanics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: <http://www.byggmek.lth.se>



## Förord

Det här arbetet är gjort på uppdrag av NCC i samband med en planerad ombyggnad av en dammvägg till ett vattenkraftverk i Sveg. Det handlar om att ta upp ett hål genom att såga ut ett stort betongblock ur dammväggen. Den konkreta frågeställningen som föranledde det här arbetet gällde om det var möjligt att tippa det utsågade blocket i dammen utan att skada dammväggen. Ett enkelt stelkroppssimuleringsprogram har använts för att studera olika scenarior och inverkan av olika omständigheter.

Per-Erik Austrell  
Byggnadsmekanik  
LTH

April 2004



## **Innehåll:**

<b>SIMULERINGSMODELL .....</b>	<b>7</b>
<b>BETONGBLOCKET OCH ÖVRIG MODELLGEOMETRI.....</b>	<b>7</b>
<b>BLOCKET FALLER I LUFT .....</b>	<b>8</b>
<b>HÄNSYN TILL VATTNETS MOTSTÅND.....</b>	<b>9</b>
<b>Stöt mot vattenytan.....</b>	<b>9</b>
<b>Lyftkraft enligt Arkimedes princip.....</b>	<b>10</b>
<b>Hänsyn till strömningsmotstånd .....</b>	<b>11</b>
<b>GROV UPPSKATTNING AV KRAFTPULSEN MOT BOTTEN .....</b>	<b>12</b>
<b>TIPPNING AV BLOCKET FRÅN ETT UTSKJUTET LÄGE .....</b>	<b>12</b>
<b>DISKUSSION KRING RESULTAT OCH FÖRUTSÄTTNINGAR.....</b>	<b>13</b>
<b>POTENTIELLA PROBLEM .....</b>	<b>14</b>
<b>UPPSKATTNING AV KANTKROSSNING .....</b>	<b>15</b>
<b>REKOMMENDATIONER YTTERLIGARE ANALYSER.....</b>	<b>15</b>



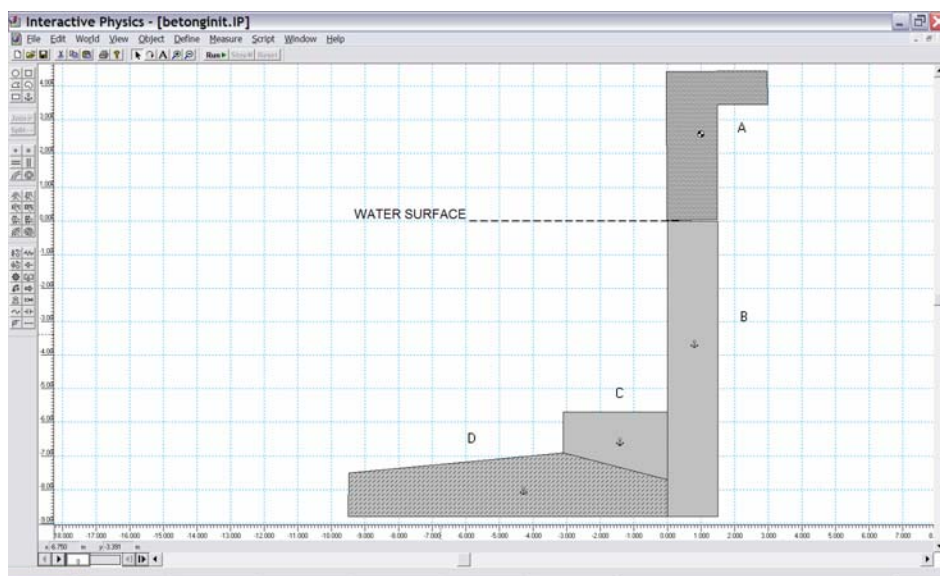


## Simuleringsmodell

Rivning av ett betongblock som skall sågas ut ur en dammvägg för att sedan vältras i vatten, har analyserats med ett simuleringsprogram som bygger på klassiska mekanikens lagar. Programmet - Interactive Physics – kan analysera rörelse och kontakt mellan stela kroppar. Stötkoefficienter och friktionskoefficienter används för att karakterisera kraftverkan i kontakten mellan kropparna. (Eftersom programmet bygger på stelkroppsmekanik kan inga spänningar eller töjningar tas ut.)

## Betongblocket och övrig modellgeometri

Geometrin för det problem som skall analyseras ges av figuren nedan som visar betongblocket, dammväggen och dess fundament. I figuren illustreras också dammväggen *B*, dammtån *C* och en del av botten *D* i dammen som är belägen ca 7m under vattenytan som är i nivå med det undre sågsnittet.

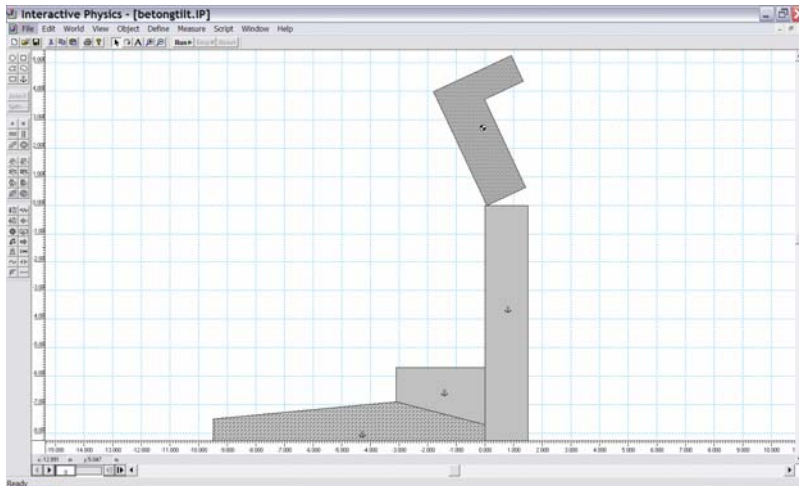


Det övre L-formade blocket *A* skall vältras åt vänster i figuren, ner i vatten. Blocket som är av betong är 4.4 m högt, 6 m djupt och har bredden 1.5m nedtill och 3m upptill. Rutorna i figurskalan har storleken 1x1 m.

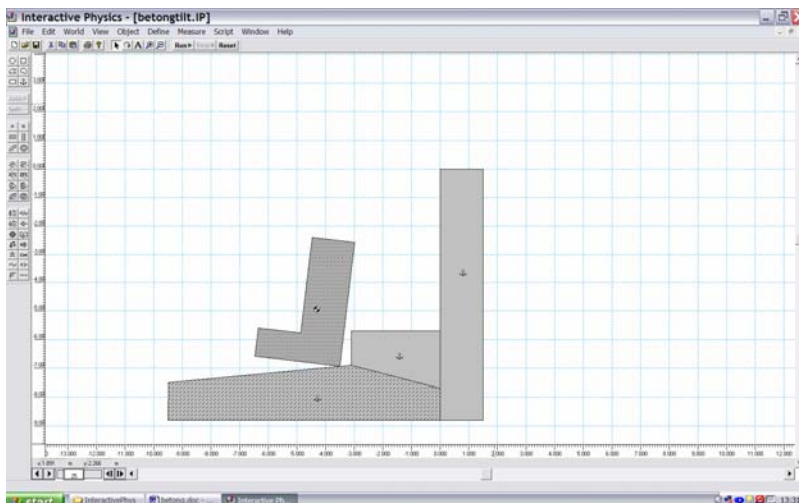
Massan för blocket är ca 120 ton och dess tyngdpunkt visas också i figuren.

## Blocket faller i luft

I en inledande simulering undersöktes vad som händer om blocket faller i luft hela vägen ner till botten, dvs utan hänsyn till inverkan av vatten. Blocket tippas med försumbar initial vinkelhastighet från en något indragen position (0.1m) för att förhindra glidning. Figuren nedan illustrerar utgångsläget



När blocket faller i luft slår det ner några decimeter ifrån dammtån enligt nedan



När blocket når botten i läget ovan är tyngdpunktens horisontella hastighet 2.3 m/s (åt vänster), dess vertikala hastighet 12 m/s och blockets vinkelhastighet 108 grader/s (moturs).

## Hänsyn till vattnets motstånd

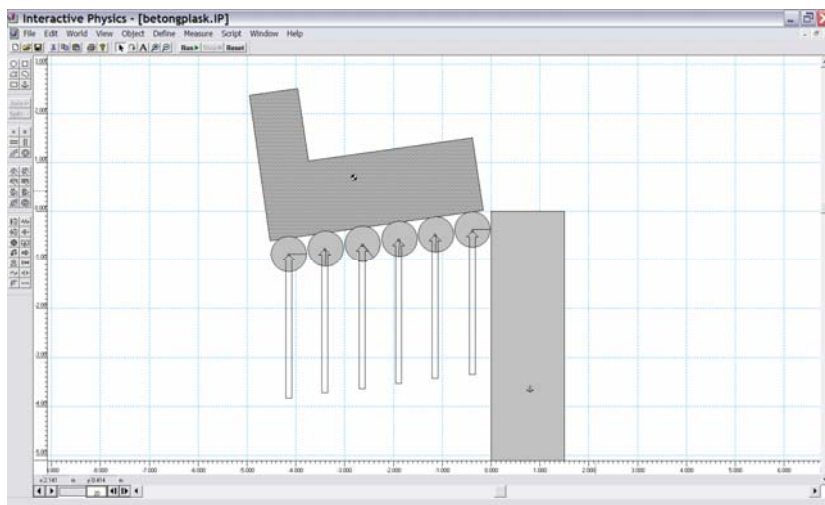
När blocket faller ner i vatten och sjunker genom vattnet kompliceras analysen av en rad faktorer

- Blocket bromsas upp i stötförloppet när det träffar vattenytan och tränger undan en stor vätskevolym
- Då blocket faller genom vattnet påverkas det av en lyftkraft enligt Arkimedes princip
- Blocket bromsas av ett strömningsmotstånd som påverkar både tyngdpunktens hastighet och blockets vinkelhastighet

Analysen delades upp i två delsteg. I det första studeras vad som händer fram till och med stöten mot vattenytan. Blockets position och hastighet efter stöten mot vattenytan används som ingångsdata i det andra analyssteget. Under det andra steget sjunker blocket mot botten under inverkan av en lyftkraft enligt Arkimedes princip. Dessutom påverkas det av ett strömningsmotstånd som är proportionellt mot kvadraten på dess hastighet.

## Stöt mot vattenytan

Hänsyn till punkt ett ovan tas genom att (cirkulära) vätskeelement läggs in vid vattenytan för att simulera blockets uppbromsning vid kollisionen med vattnet enligt figur nedan



Den sammanlagda massan hos vätskeelementen är ca 1.5 gånger vikten av den vätskemängd som blocket tränger undan då det sänks helt. Dessa element modelleras också som stela kroppar. Avsikten med denna modell är att få en uppfattning om vad som

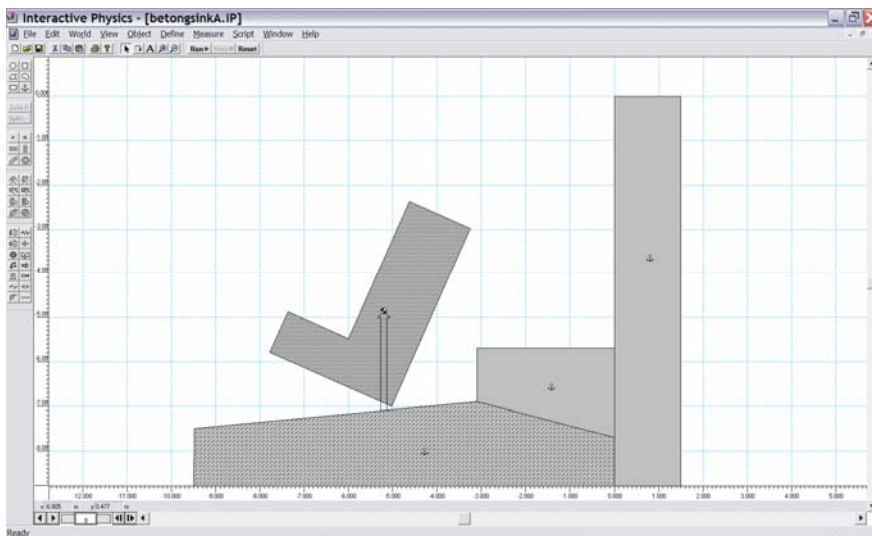
händer när blocket slår i vattnet. Vattnet ger en väsentlig momentan bromsande kraft som påverkar både vinkelhastighet och tyngdpunktens hastighet.

Vid islaget mot vattenytan sjunker vinkelhastigheten och vertikal hastighet för tyngdpunkten med ca 40-45%. I den visade positionen ovan är tyngdpunktens horisontella hastighet 2.4 m/s åt vänster, vertikala hastigheten 2.7 m/s och vinkelhastigheten 58 grader/s.

## Lyftkraft enligt Arkimedes princip

Det första analyssteget enligt ovan gav initiala hastigheter efter islaget i vattnet. I det andra steget studeras hur blocket faller genom vattnet ner mot botten under inverkan av lyftkraften. Initiala hastigheter enligt steg ett används som ingångsdata i steg två.

Nedan visas hur blocket träffar botten, om man tar hänsyn till lyftkraften enligt Arkimedes princip när det sjunker mot botten. Lyftkraften är lika med tyngden av den undanträngda vätskan (i det här fallet ca 0.5 MN).



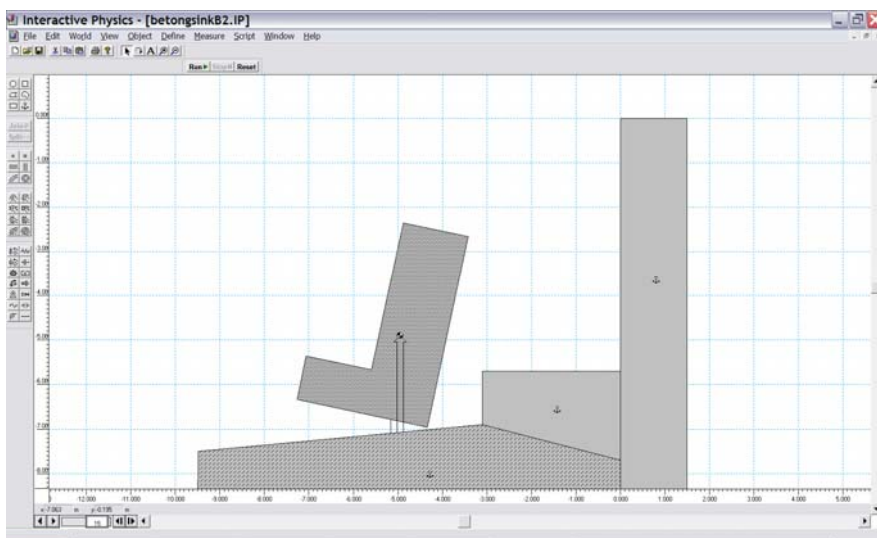
Bilden ovan visar att blocket slår ner ca 1.5 m längre ut om man tar hänsyn till islaget i vattnet och Arkimedes princip, jämfört med ett block som faller i luft hela vägen (enligt den preliminära analysen inledningsvis).

När blocket når botten i läget ovan, är tyngdpunktens horisontella hastighet 2.4 m/s (åt vänster), dess vertikala hastighet 8.9 m/s och blockets vinkelhastighet (samma som initialt) 58 grader/s.

## Hänsyn till strömningsmotstånd

Strömningsmotståndet tycks ha stor inverkan. Motståndet i vatten är kvadratisk beroende av hastigheten  $v$  enligt  $F = 1/2 c \rho A v^2$  där  $c$  är en konstant som sätts till 2,  $\rho$  är vattnets densitet  $1000 \text{ kg/m}^3$  och  $A$  tvärsnittsarean vinkelrät hastighetsvektorns riktning med  $A = 3.5 \times 6 \text{ m}^2 = 20 \text{ m}^2$ . Den maximala bromsande kraften blir då i storleksordningen  $0.4 \text{ MN}$  (strax innan blocket slår i botten) dvs ungefär som lyftkraften enligt Arkimedes.

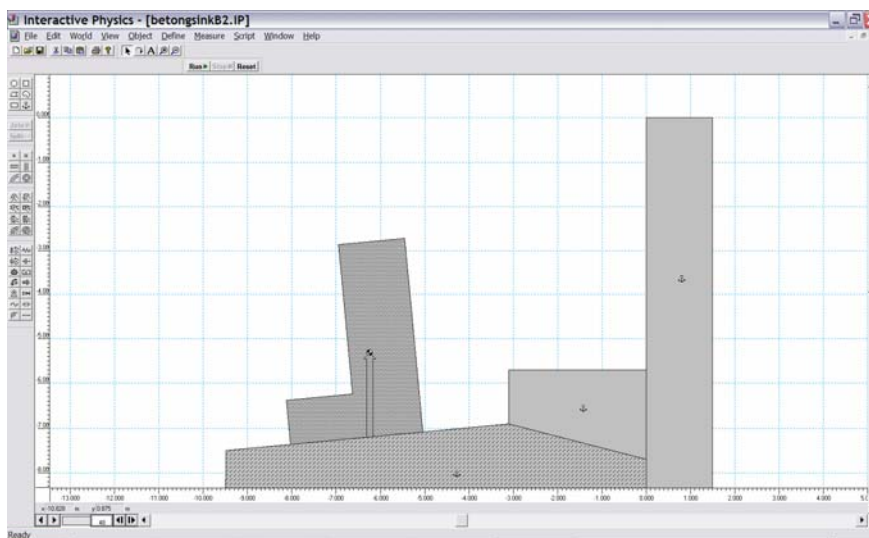
Även vinkelhastigheten påverkas av ett bromsande moment som är proportionellt mot vinkelhastigheten i kvadrat. Det maximala bromsande momentet (initialt) sätts till  $90 \text{ kNm}$ . Vinkelhastigheten minskar på vägen mot botten och därmed också det bromsande momentet. Det bromsande momentet har uppskattats utgående från ett smalt rektangulärt block som roterar kring sin tyngdpunkt i vatten.



Bilden ovan visar att blocket slår ner ca  $1.2 \text{ m}$  från fundamentet, dvs ca  $0.7 \text{ m}$  närmare än i föregående fall med endast lyftkraft. När blocket når botten i läget ovan är tyngdpunktens horisontella hastighet  $0.7 \text{ m/s}$  (åt vänster), dess vertikala hastighet  $5.3 \text{ m/s}$ . Blockets vinkelhastighet har sjunkit från initialt  $58 \text{ grader/s}$  till  $41 \text{ grader/s}$ . Vattnets rörelsemotstånd ger alltså en väsentlig påverkan. Dock kan valet av konstanten  $c=2$  vara något högt.

När blocket slår ner i botten uppkommer stora krafter i stötögonblicket vars storlek och varaktighet beror av underlagets styvhet och deformationskapacitet. Detta kan inte modelleras på annat sätt än genom en stötkoefficient i nuvarande modell. Värdet på stötkoefficienten för kollisionen mellan blocket och underlaget har givits ett lågt värde ( $e=0.2$ ) eftersom stöten mot botten förmodligen är i det närmaste oelastisk.

Med dessa förutsättningar ges blockets slutposition (i vila) i figuren nedan:



Med de diskuterade förenklade förutsättningarna för bedömning av slutpositionen, räcker alltså inte rörelsemängdsmomentet till för att blocket skall välta över åt vänster.

I det här sammanhanget bör det påpekas att om inte blocket bromsas upp mjukt är risken förmodligen stor att det krossas i nedslaget. Om det å andra sidan bromsas upp mjukt finns risk för att det välter tillbaka mot dammtån.

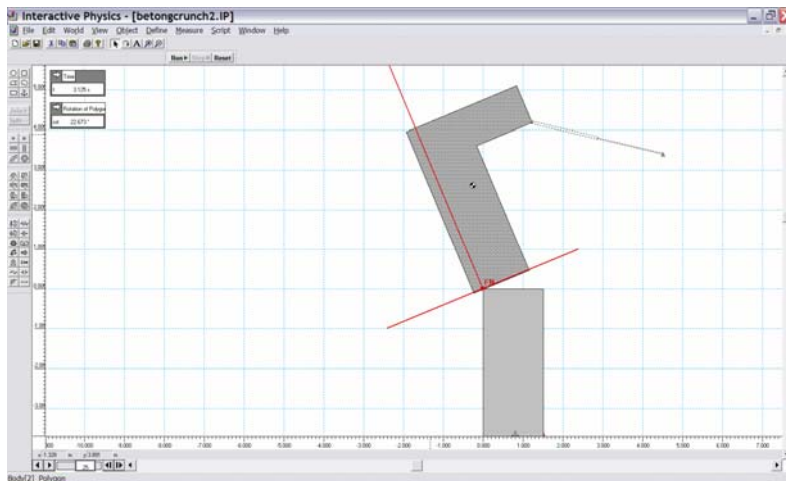
## Grov uppskattning av kraftpulsen mot botten

Genom att använda ett enkelt energiresonemang kan man uppskatta storleken på kraftpulsen mot botten då blocket slår i botten. Om man räknar att blocket bromsas på sträckan 0.5 m av en kraft från botten och sätter det arbete, denna kraft utträttar lika med blockets rörelseenergi, blir medelkraften 4.4 MN i kraftpulsens. Maxkraften i pulsen blir högst ca  $2 \times 4.4 = 8.8 \text{ MN}$ . Impulslagen ger att pulsens varaktighet i tiden blir ca 0.15s. Kraftpulsens utgår från en punkt där blockets ena hörn slår i.

## Tippning av blocket från ett utskjutet läge

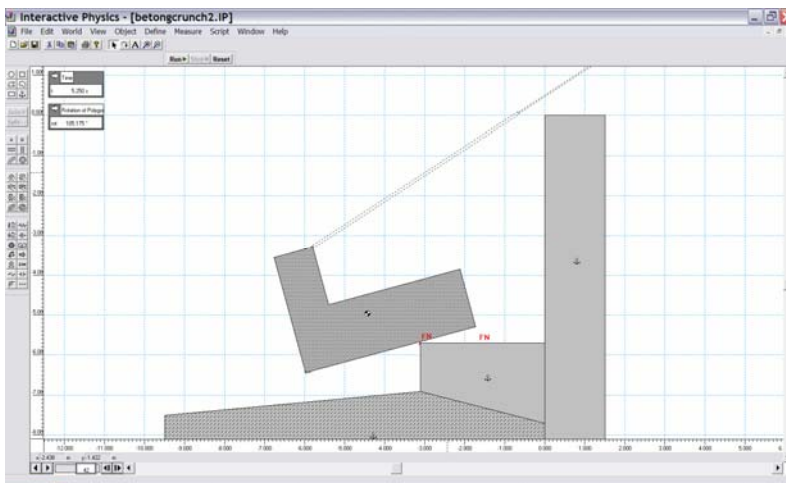
Det har diskuterats att skjuta ut blocket 250 mm innan det tippas. För att undersöka effekten av detta genomfördes en simulering där blocket välts från det utskjutna läget.

Utgående från ett upprätt läge tippas blocket enligt nedan



Med statiska friktionskoefficienten  $\mu=0.4$  kommer blocket i glidning (samtidigt som det roterar) när lutningen uppnår ca 35 grader. Effekten av detta är att blockets vinkelhastighet blir lägre än i de tidigare simuleringarna (då kontaktpunkten nästan fungerade som en led).

Vid simulering av blockets rörelse i luft slår det i fundamentet enligt



Väljer man en högre statisk friktionskoefficient  $\mu=0.7$  kommer blocket i glidning vid lutningen ca 50 grader och landar i ungefär samma position som ovan men ca 0.5 m närmare dammväggen.



## Diskussion kring resultat och förutsättningar

Simuleringsmodellen innehåller en del grova antaganden och skall ses som ett första försök att förutsäga vad som kan hända vid rivningen. Några kritiska punkter i modellantagandena listas nedan

- modellen är tvådimensionell
- alla kroppar betraktas som helt stela
- kollisionen mot vattnet modelleras på ett grovt sätt
- uppskattningen av strömningsmotståndet är schablonmässig

Genom att blocket och dammväggen modelleras som stela ges tex ingen information om spänningarna i hörnen när blocket står på kant.

Kollisionen med vattnet är ett komplicerat stötförlopp som har modellerats på ett förenklat sätt. Hur mycket av vattnets massa som skall ingå i stötförloppet, för att på ett ekvivalent sätt beskriva den komplexa tryckupbyggnaden och strömningen, är svårt att uppskatta.

När blocket sjunker mot botten uppkommer ett strömningsmotstånd genom att vatten skall avlänkas i en komplicerad strömning runt blocket. Blockets formfaktor  $c$ , som beror av hur strömlinjeformad kroppen är, har grovt uppskattats till värdet 2. Dessutom infördes ett motstånd mot vinkelhastigheten som också är väldigt förenklat.

Det har också diskuterats att låta vattennivån stå ca 1m över det horisontella snittet genom dammväggen. Effekten av detta förändrar troligen inte analysresultaten i någon större utsträckning.

Det har också diskuterats att använda timmer av tjockleken 0.6 m på dammväggen som skydd. I fallet med att blocket tippas från ett utskjutet läge, visar simuleringarna att timmret bör placeras ca 2m under lägsta snittytan för att inte träffas av blocket. Detta gäller med den högre friktionskoefficienten.

## Potentiella problem

Den använda modellen ger information om rörelsen, storleken på krafter mm, men ger ingen information om

- kanterna på block och dammvägg krossas
- blocket spricker i kollisionen med botten
- hur stöten mot botten påverkar fundamentet

Kanterna på blocket och dammväggen kan krossas när blocket tippas. Om övre vänstra hörnet på dammväggen spricker av kan blocket skada dammväggen.

Effekten av nedslaget i botten är svår att förutsäga. Det är mycket rörelseenergi som skall tas upp av underlaget.

## **Uppskattning av kantkrossning**

En fara med den undersökta metoden är att kanten krossas. För att uppskatta hur mycket av kanten som spjälkas av, genomfördes en överslagsberäkning som bygger på betongens tryckhållfasthet (sattes till 40MPa). Överslagsberäkningen gav att kanten bara krossas i liten omfattning med flisor i storleksordningen några cm. Beräkningen har gjorts utan hänsyn till och kännedom om hur dammväggen är armerad.

## **Rekommendationer ytterligare analyser**

För att skingra en del osäkerhet ges här förslag på ytterligare undersökningar

- modellförsök med skalmodell inklusive vatten
- undersökning av friktionskoefficienten
- islaget mot botten - kraftupptagning

Skalmodeller som visar hur blocket beter sig i vattnet är ett bra komplement till föreliggande undersökning. Vattenfalls hydrauliska laboratorium kan ombesörja en sådan undersökning.

Friktionen styr till stor del vad som händer när blocket tippas. Det är svårt att få en bra uppskattning av friktionskoefficienten. Det är därför rimligt att försöka arrangera tippningen av blocket så att inte friktionens inverkan är kritisk.

Hur blocket skall bromsas upp, risken/möjligheten att det knäcks vid kollisionen mot botten, samt hur nedslaget påverkar dammväggen bör också utredas.



## **Referenser**

Interactive Physics ver. 3.0, Knowledge Revolution Inc, California, USA

Engineering Mechanics, Statics and Dynamics, Meriam & Kraig, Wiley . USA

Applied Fluid Mechanics, R. L. Mott , Prentice Hall