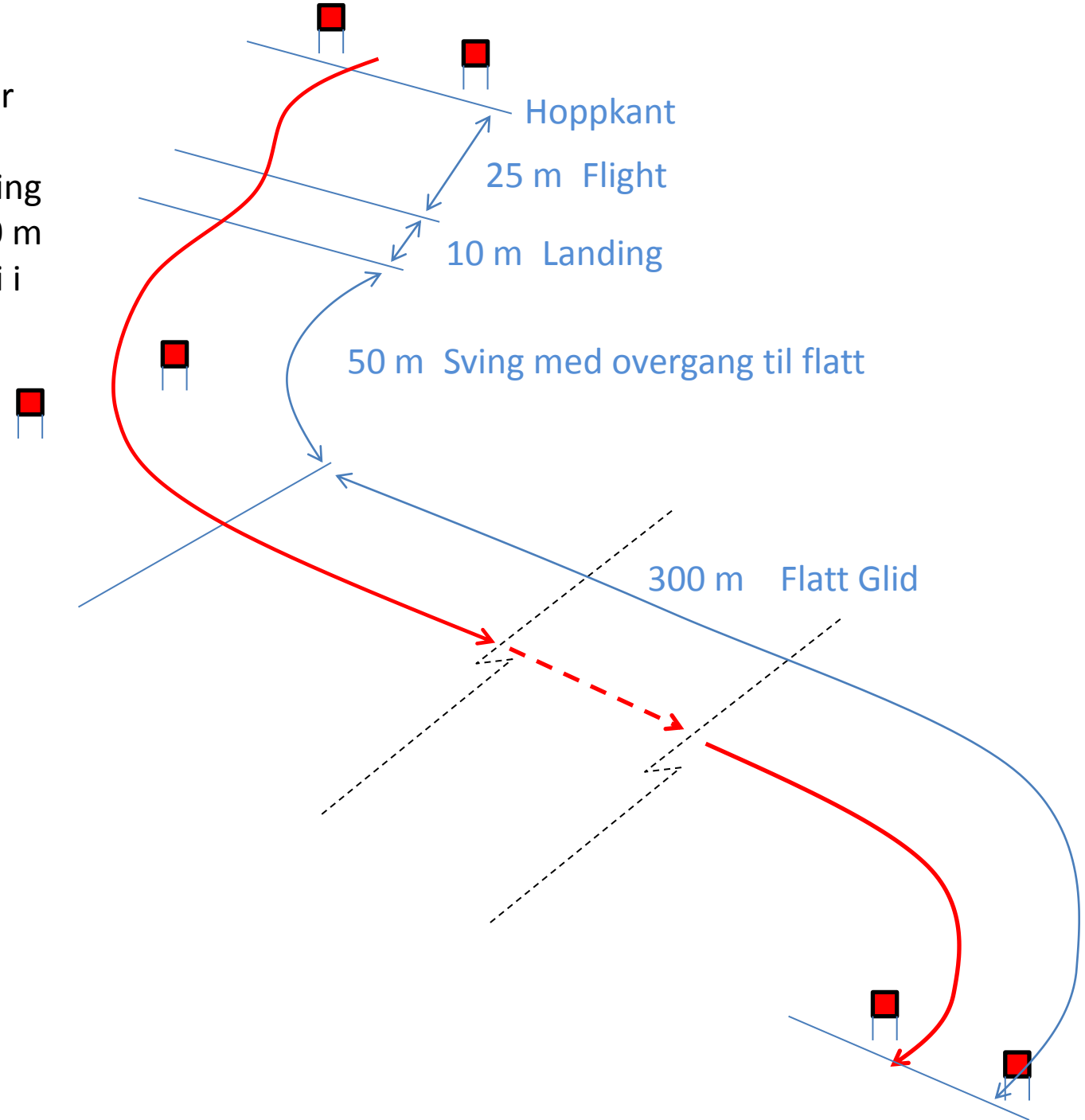
AERODYNAMIKK I ALPINT

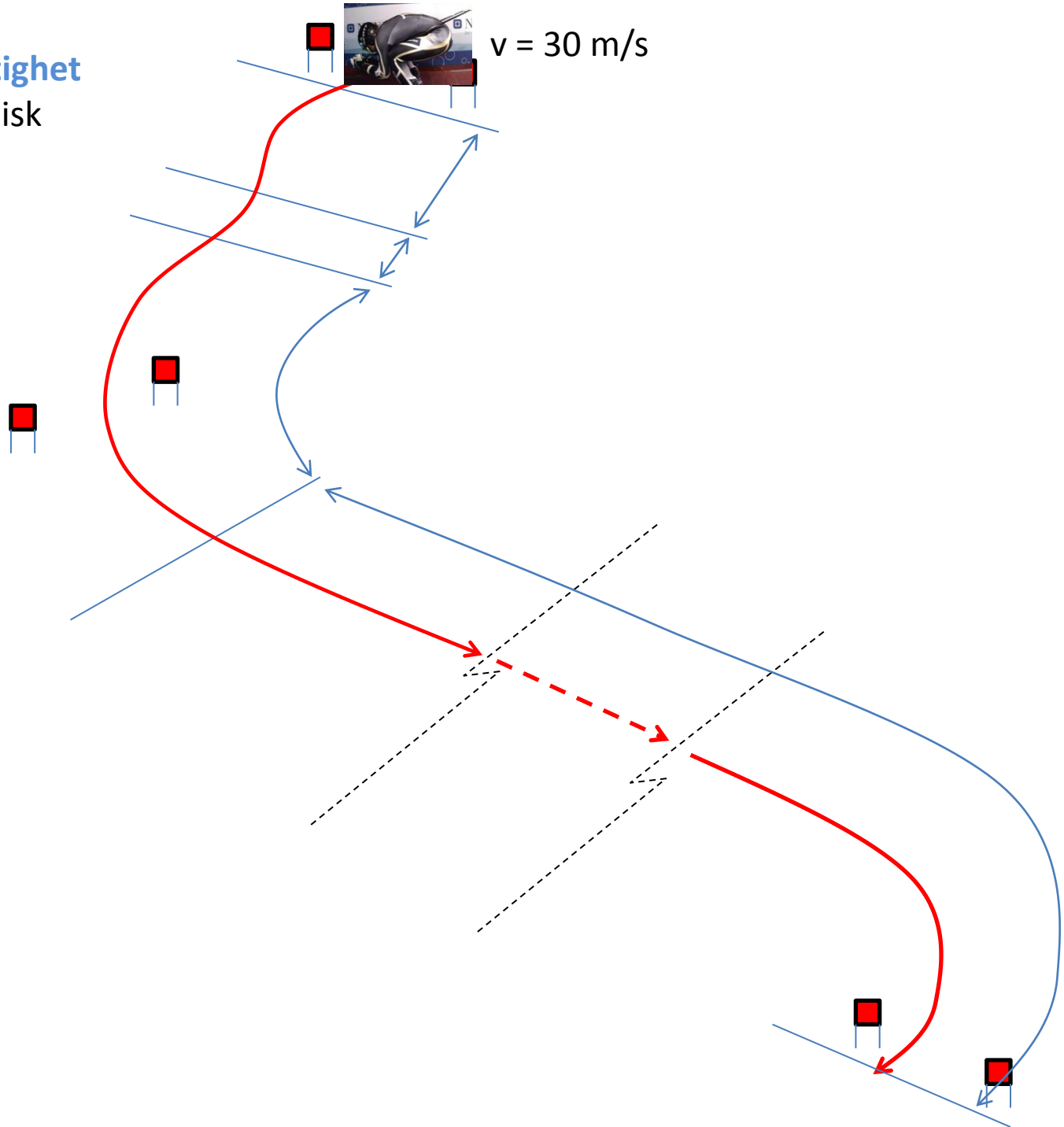
En Oppsummering av Årets Vindtunnel Test Resultater

Robert C. Reid, Ph.D.
Sport Science Ansvarlig
Norges skiforbund
23. Januar, 2013

Et Eksempel:
Situasjonen er en liten hopp fulgt av en sving inn på en 300 m lang glid parti i utfor.

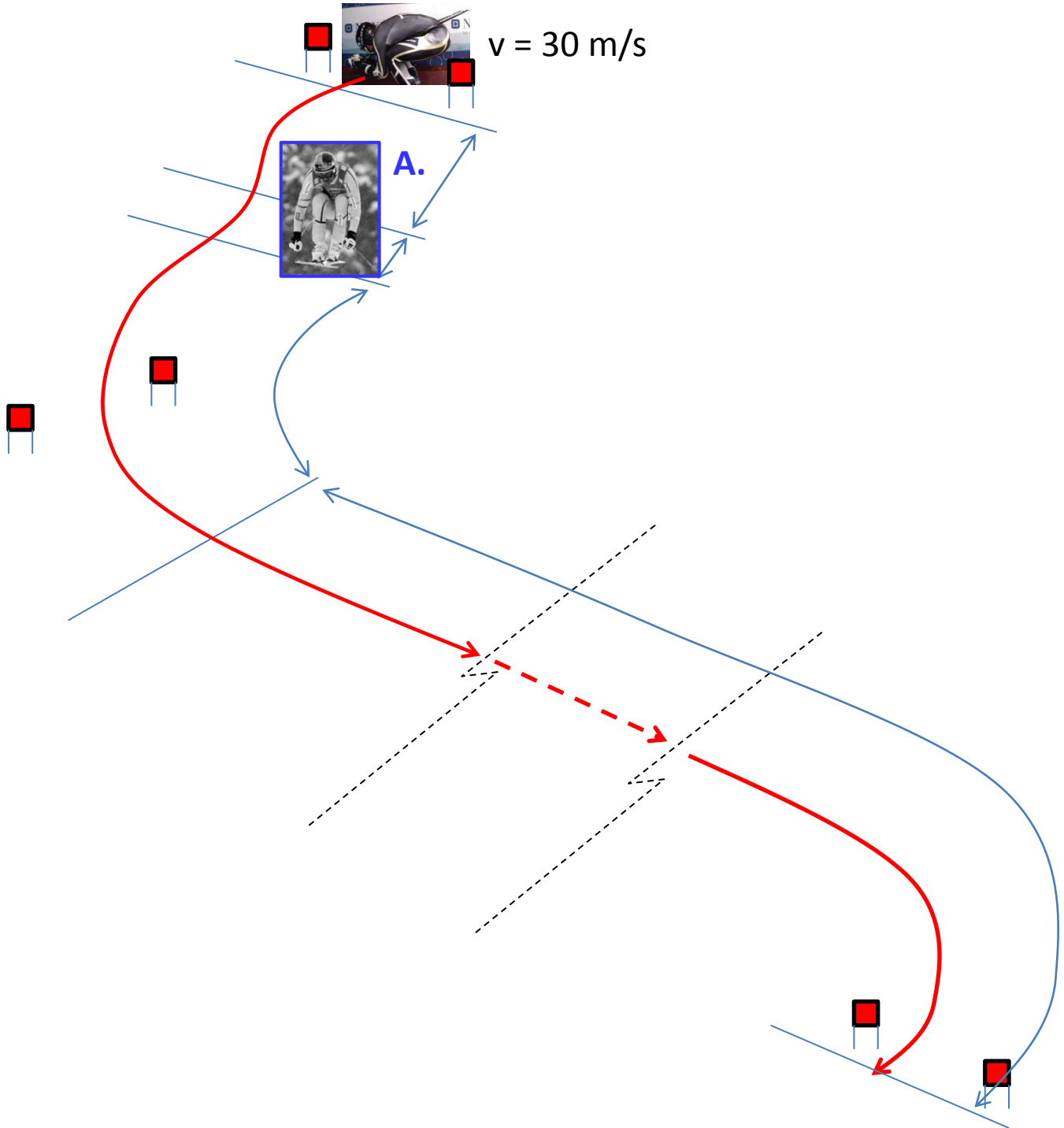


Inngangs hastighet
er 30 m/s, typisk
herrer utfor.



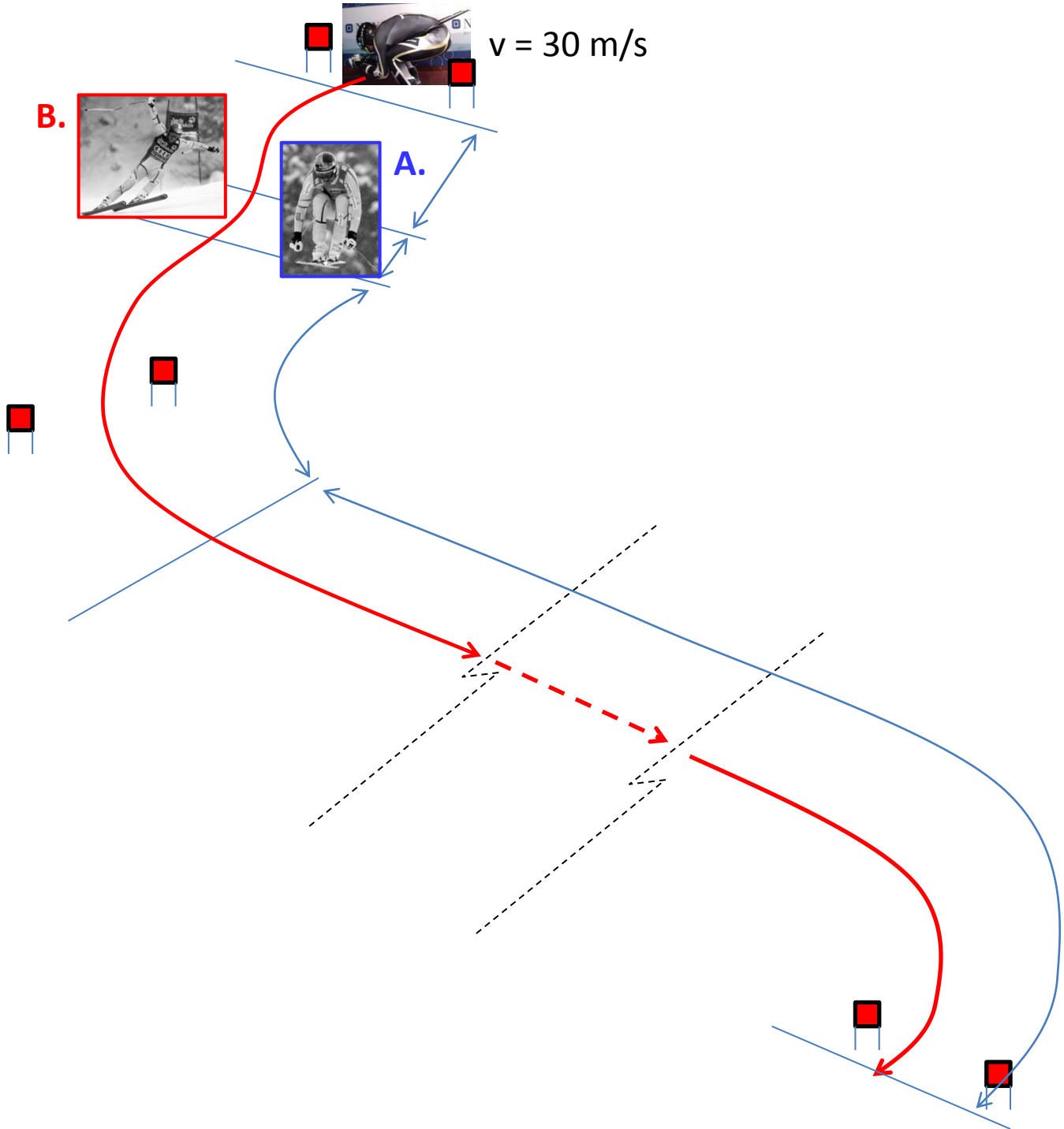
Situasjon A

Løperen holder en relativt kompakt posisjon gjennom landingen (han strekker ut beina men holder armer kompakt).



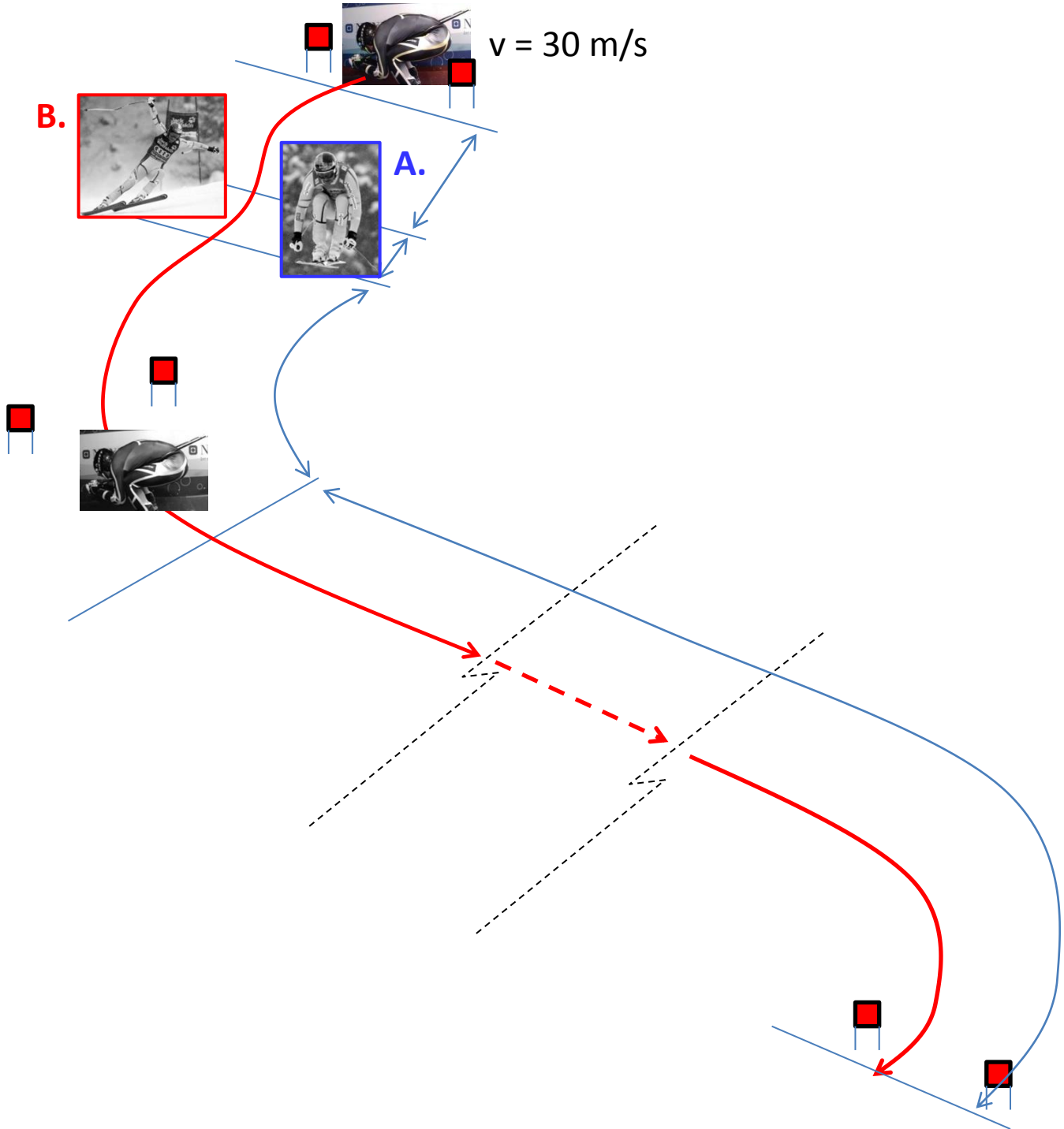
Situasjon B

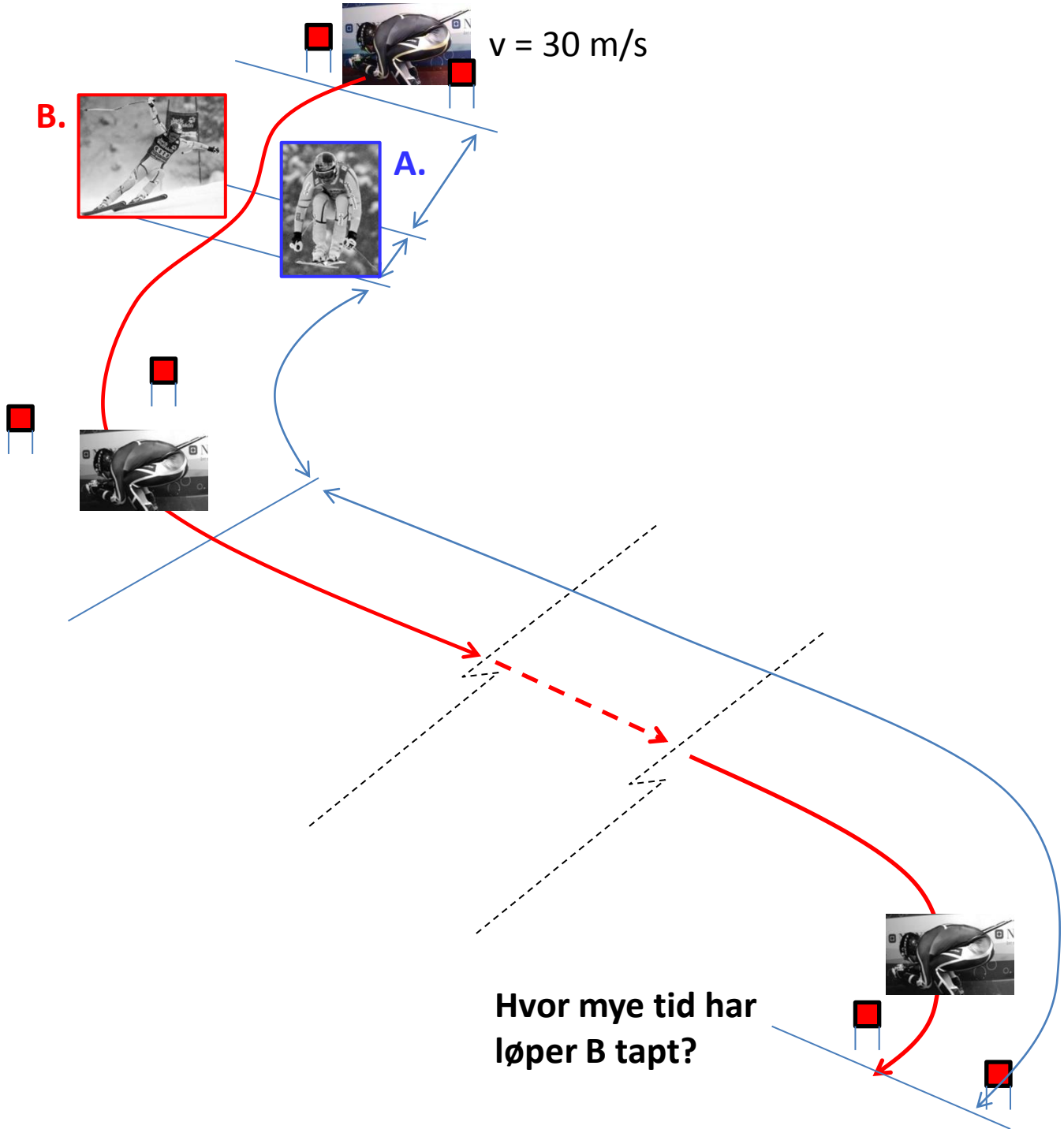
Løperen åpner bredt med armene gjennom landingen i tillegg til å strekke ut.

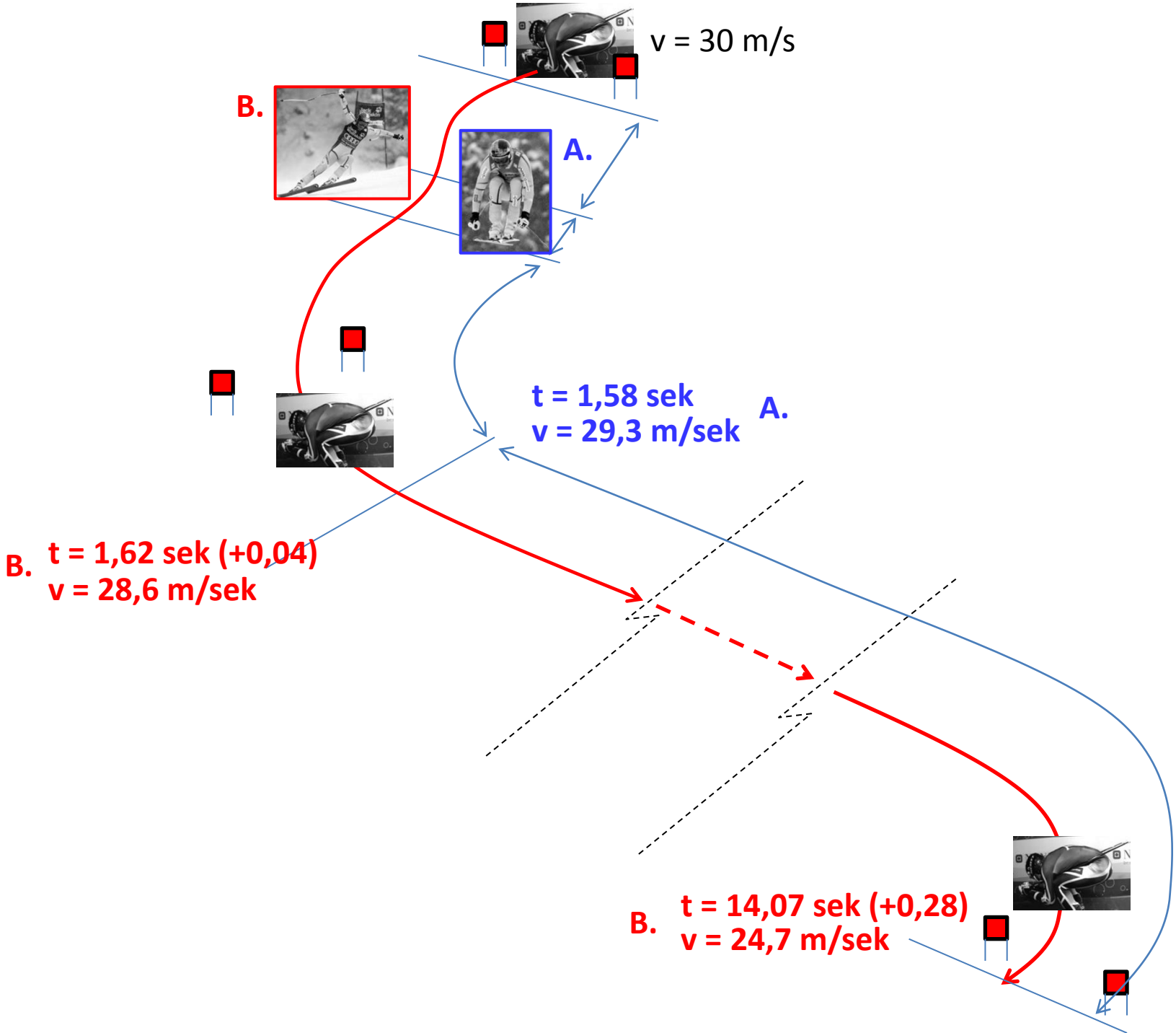


I begge situasjoner holder løperen en kompakt posisjon fra landingen og ut flatta.

Det eneste forskjell er posisjon gjennom landing over ca 25 m.




v = 30 m/s
B.
A.
Hvor mye tid har løper B tapt?


v = 30 m/s
B.
A.
t = 1,58 sek
v = 29,3 m/sek
A.
B.
t = 1,62 sek (+0,04)
v = 28,6 m/sek
B.
t = 14,07 sek (+0,28)
v = 24,7 m/sek

FAKTORENE SOM PÅVIRKER LUFTMOTSTAND

$$F_D = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot C_D \cdot v^2$$

(Lind & Sanders, 2004)

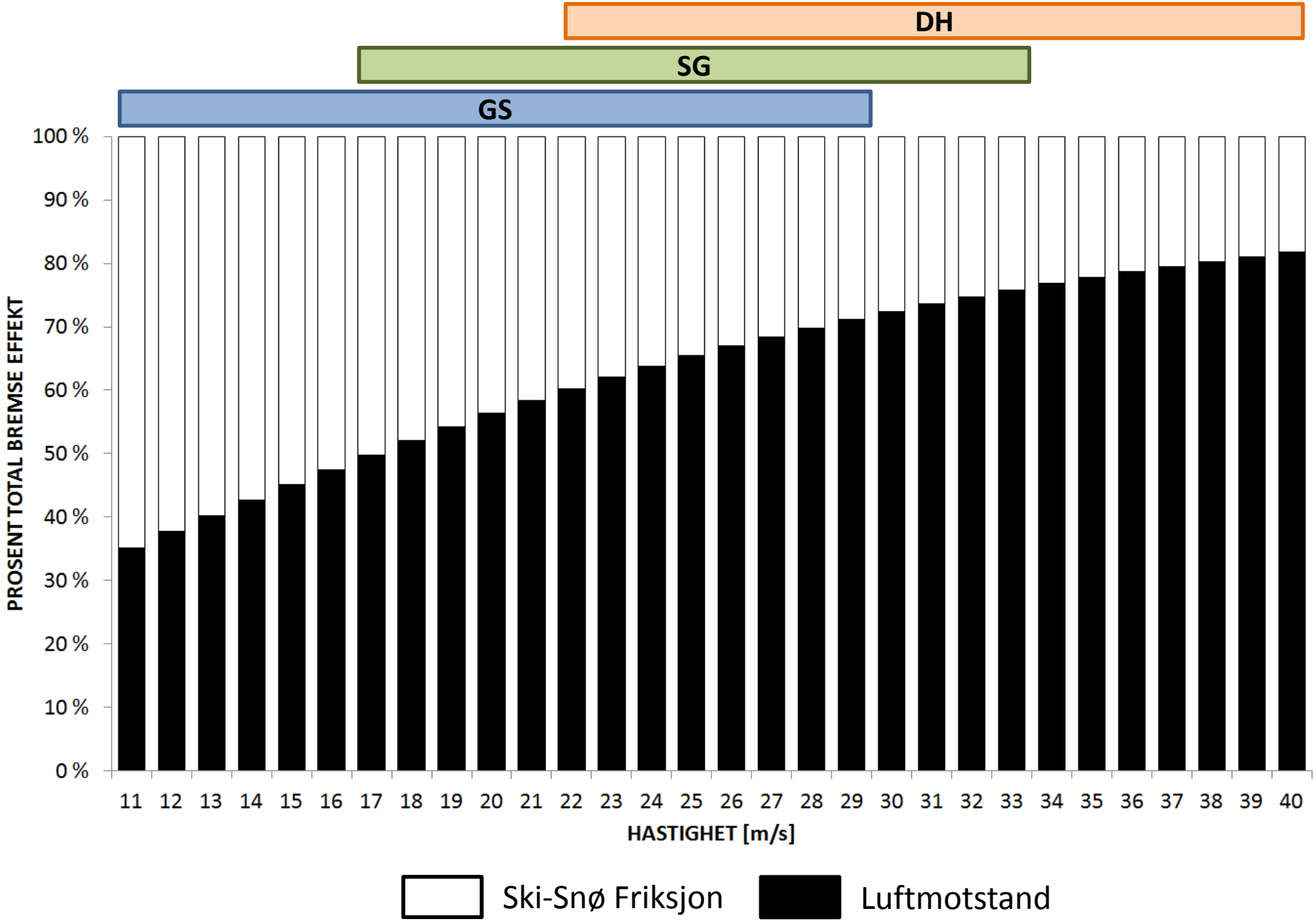
ρ Luftens tetthet

A Frontal Areal
→ Posisjon

C_D Drag koeffisient
→ Posisjon – Kroppens form
→ Overflattens egenskaper

v Hastighet

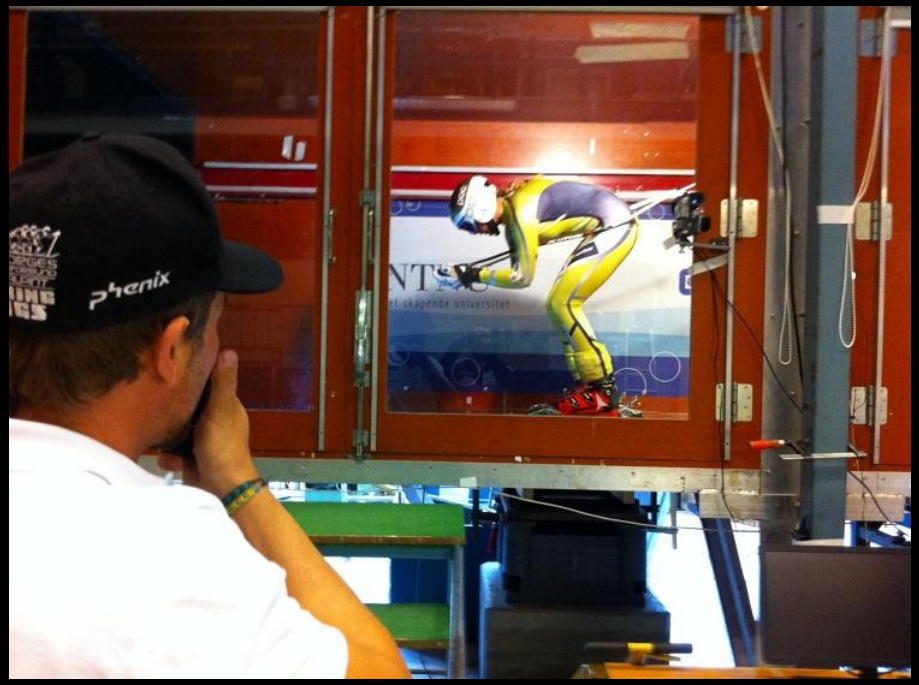
200 m rett fram glid: Hvor mye av bremse effekten skyldes ski-snø friksjon og luftmotstand?



METODER

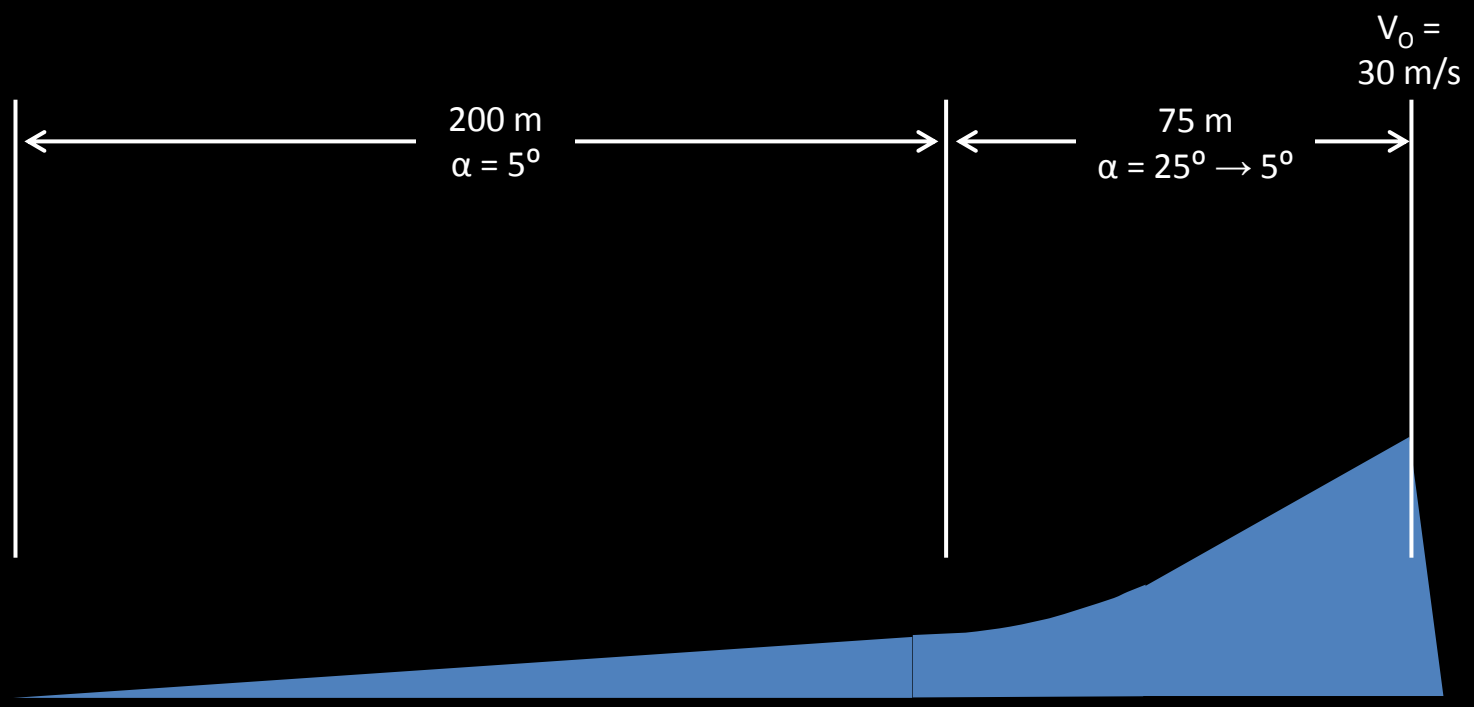
NTNU
Det skapende universitet
Senter for idrettsanlegg
og teknologi (SIAT)
idrettsanlegg og idrettsteknologi
NTNU

METODER



METODER

Simulasjon → For å kvantifisere praktisk konsekvens



LAV HOCKEY

CDA = 0,1908

CDA = 0,2052

CDA = 0,2689

Punkt 1: Hold armene innenfor kroppens omriss

Posisjon 1: **Lav Hockey**

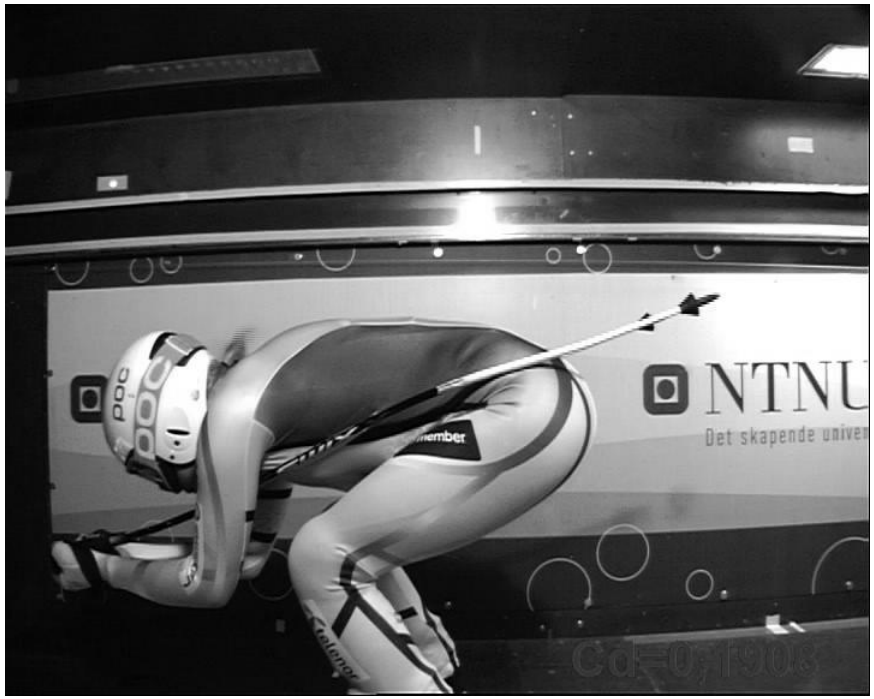
vs.

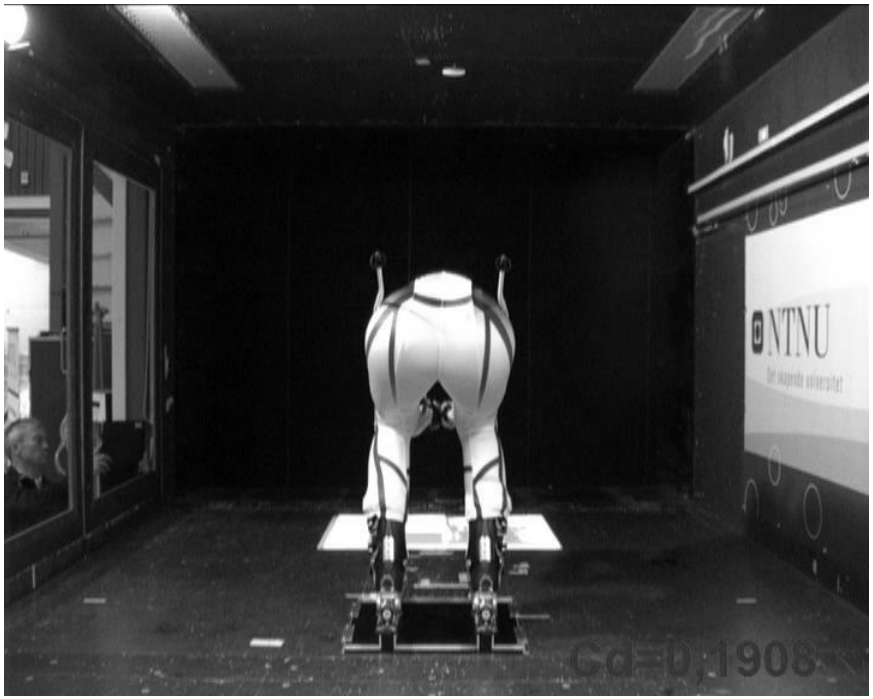
Posisjon 2: **Lav Hockey Albuer Ut**

POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

Posisjon 1: Lav Hockey

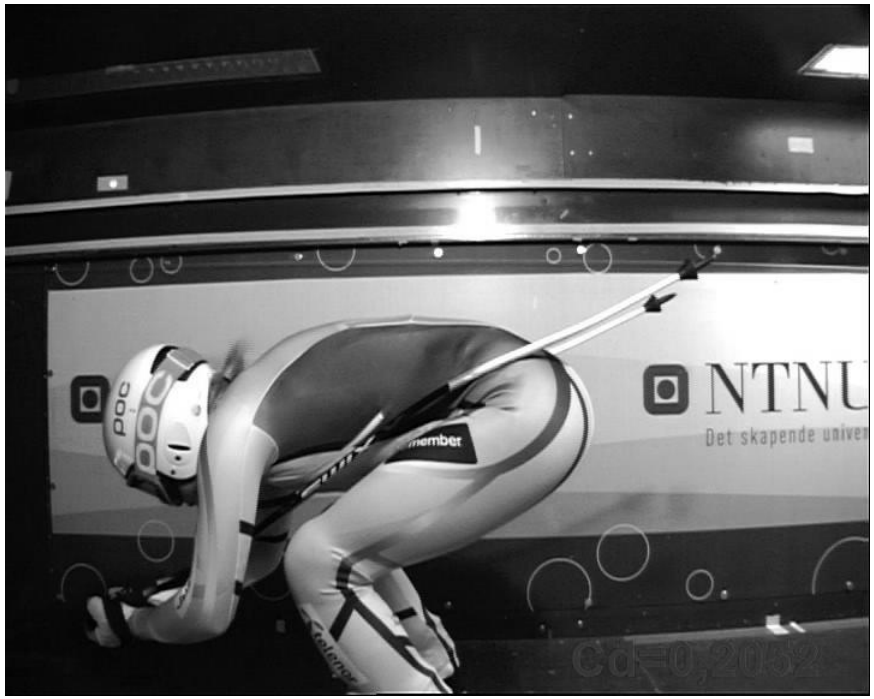


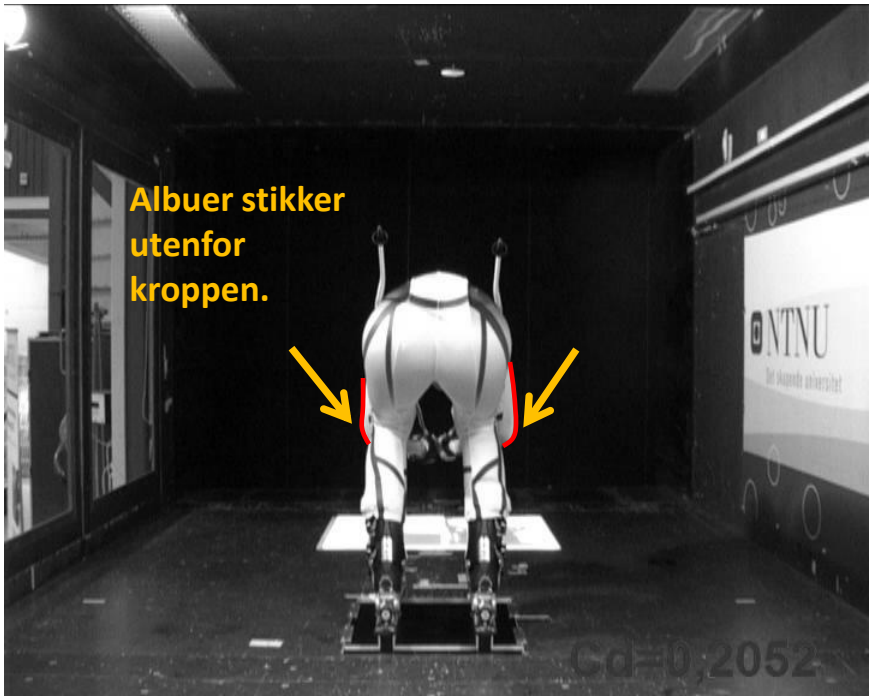


POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

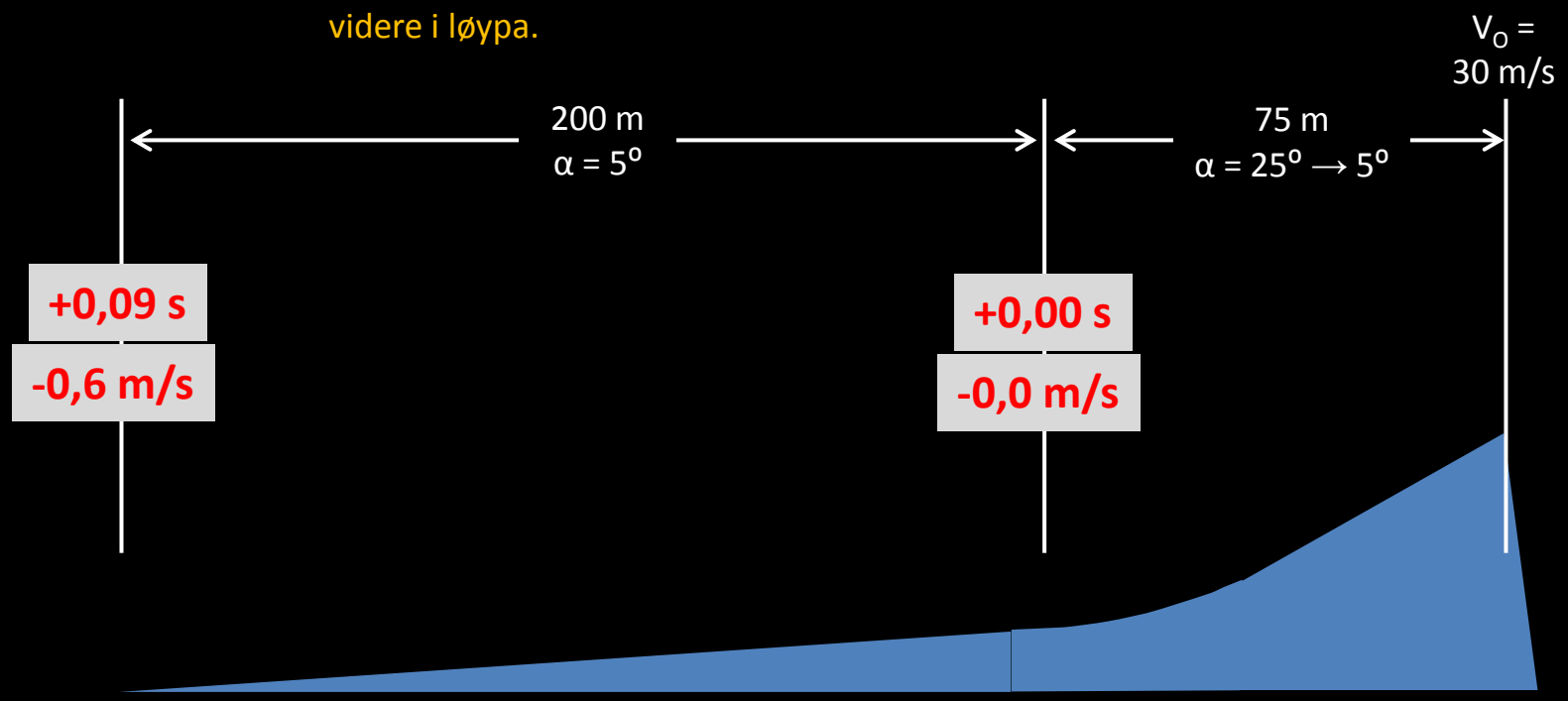
Posisjon 2: Albuer Utenfor





Simulasjonsresultater: Lav Hockey vs Albuer Utenfor Kroppen

- Hockey med albuer utenfor taper 0.09 sek over 200 m glid med likt inngangs hastighet.
- Hastighets tapet er også veldig stor og kan føre til betydelig tidstap videre i løypa.



LAV HOCKEY

CDA = 0,1908

CDA = 0,2689

CDA = 0,2052

ALBUER UTENFOR HOCKEY

m [kg] :	81,3 med utstyr
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Punkt 2: Hold ryggen parallelt med luftstrømmen

Posisjon 1: **Lav Hockey**

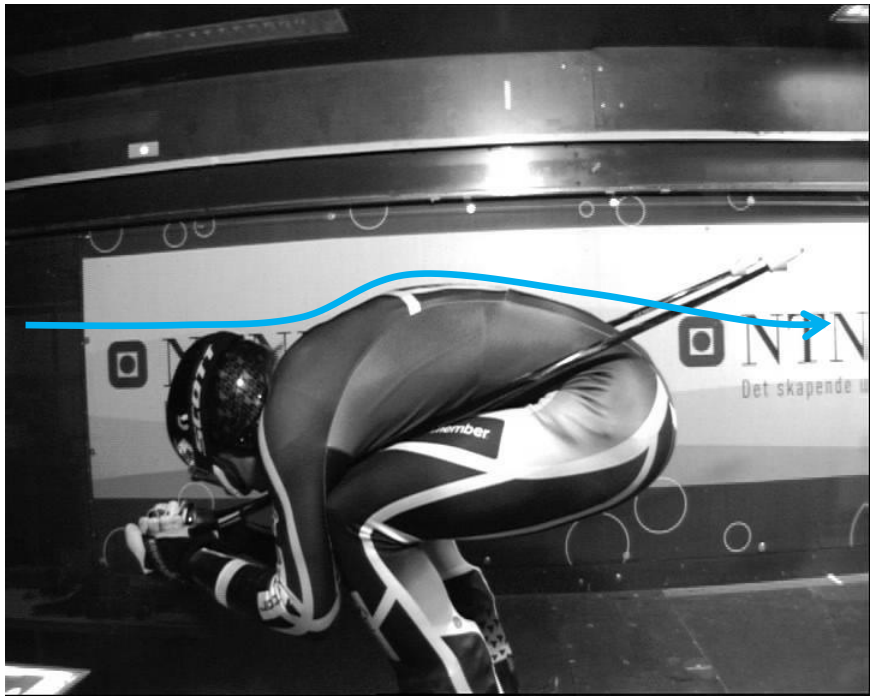
vs.

Posisjon 2: **Lav Hockey med Løftet Rumpa**

POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

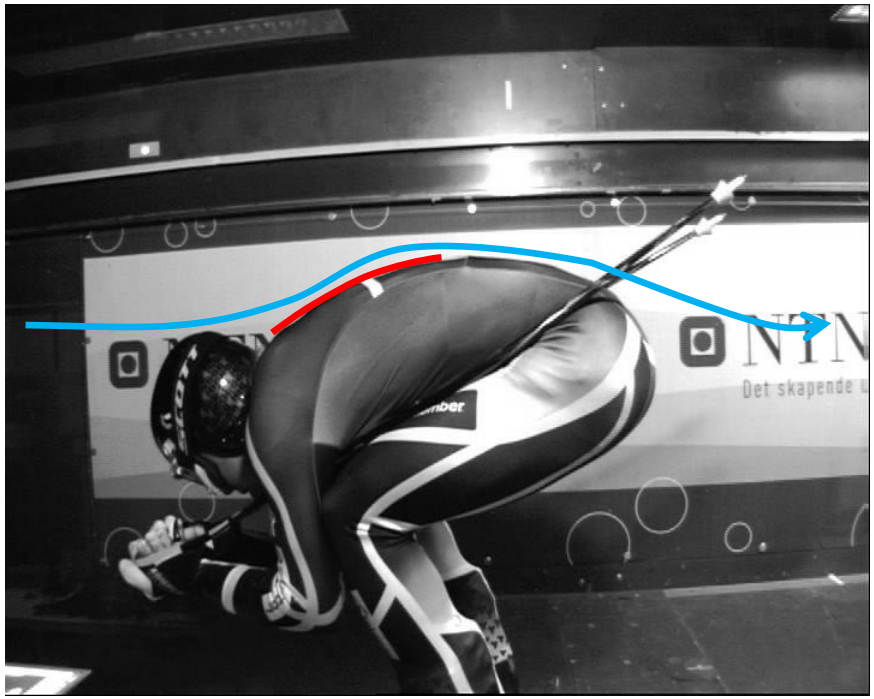
Posisjon 1: Lav Hockey

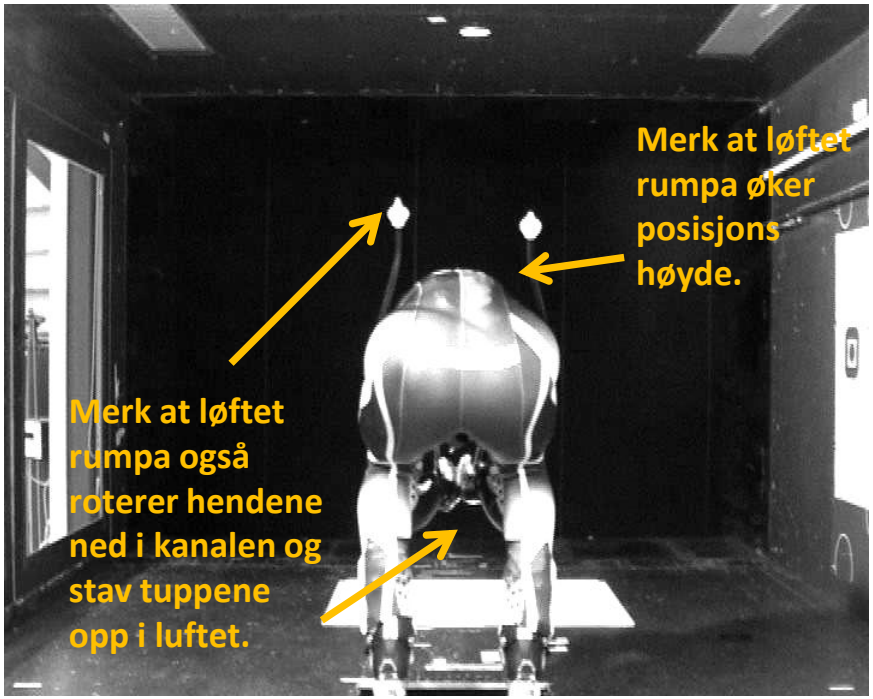


POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

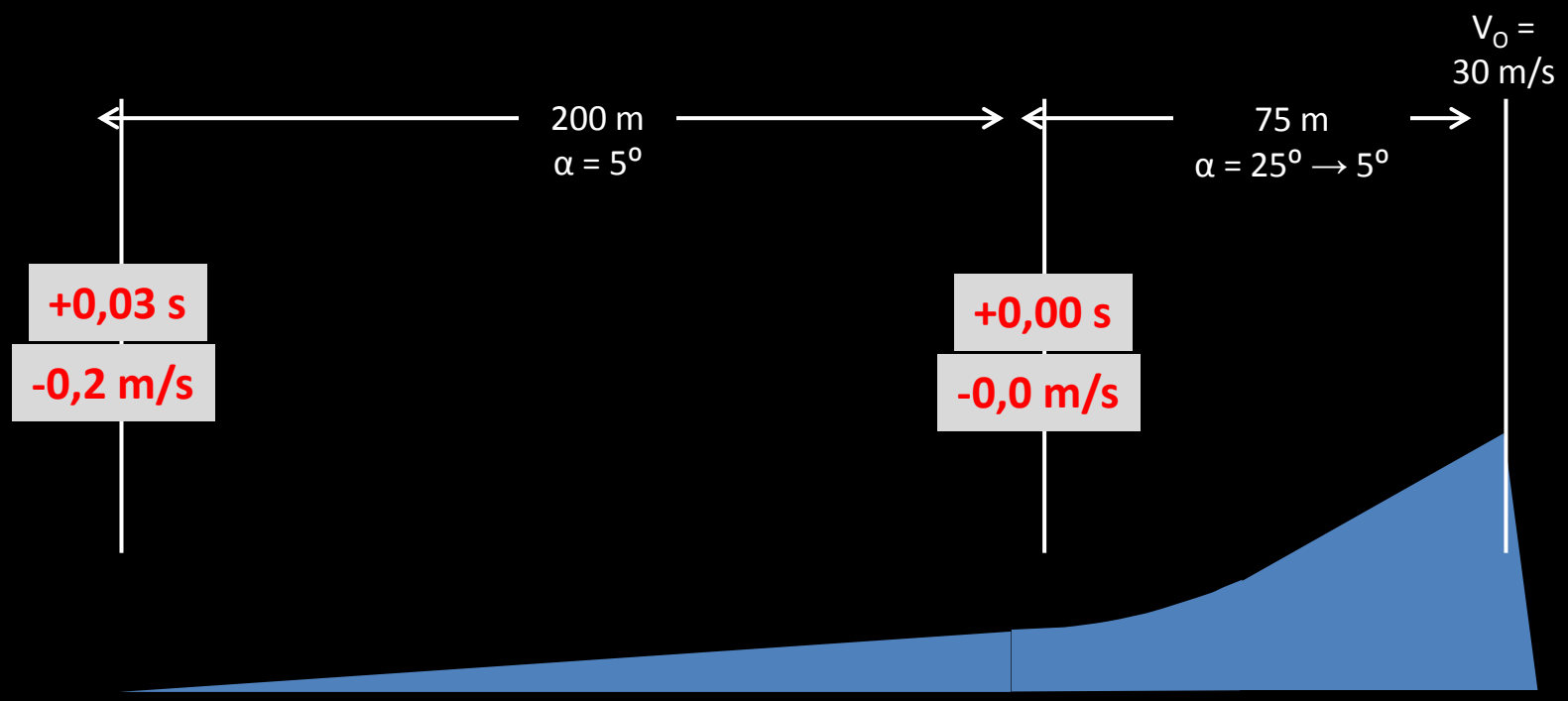
Posisjon 2: Lav Hockey med Løftet Rumpa





Simulasjonsresultater: Lav Hockey vs Løftet Rumpa

- Løftet Rumpa hockey taper 0.03 sek over 200 m glid med likt inngangs hastighet.
- Hastighets tapet etter 200 m glid kan også føre til videre tidstap.

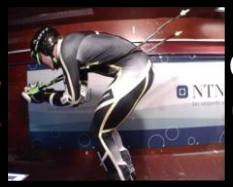


LAV HOCKEY

CDA = 0,176

CDA = 0,182

LAV HOCKEY, LØFTET RUMPA



CDA = 0,272

m [kg] :	97,2 med utstyr
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Punkt 2: Hold ryggen parallelt med luftstrømmen

Posisjon 1: **Lav Hockey**

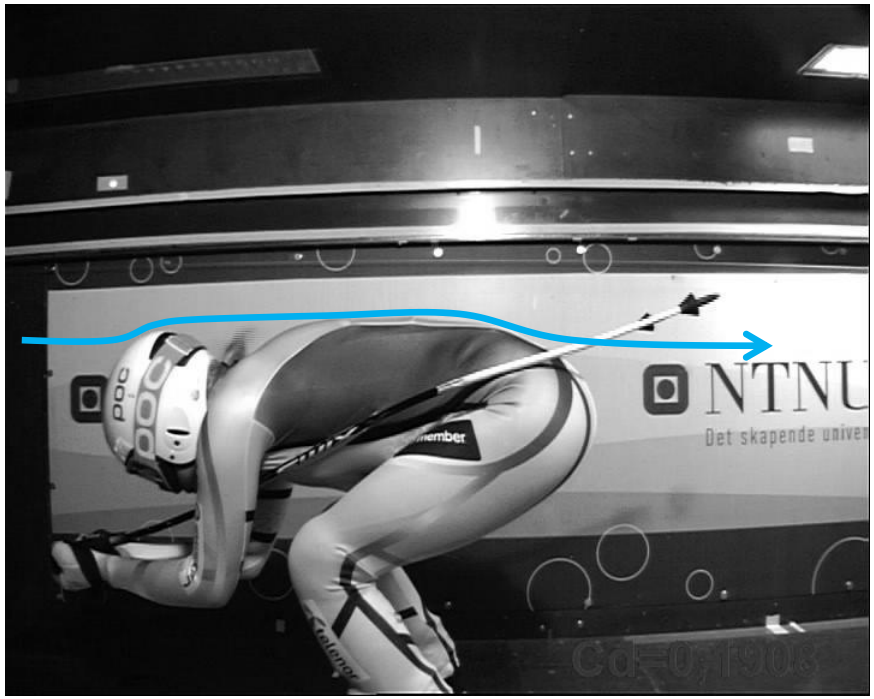
vs.

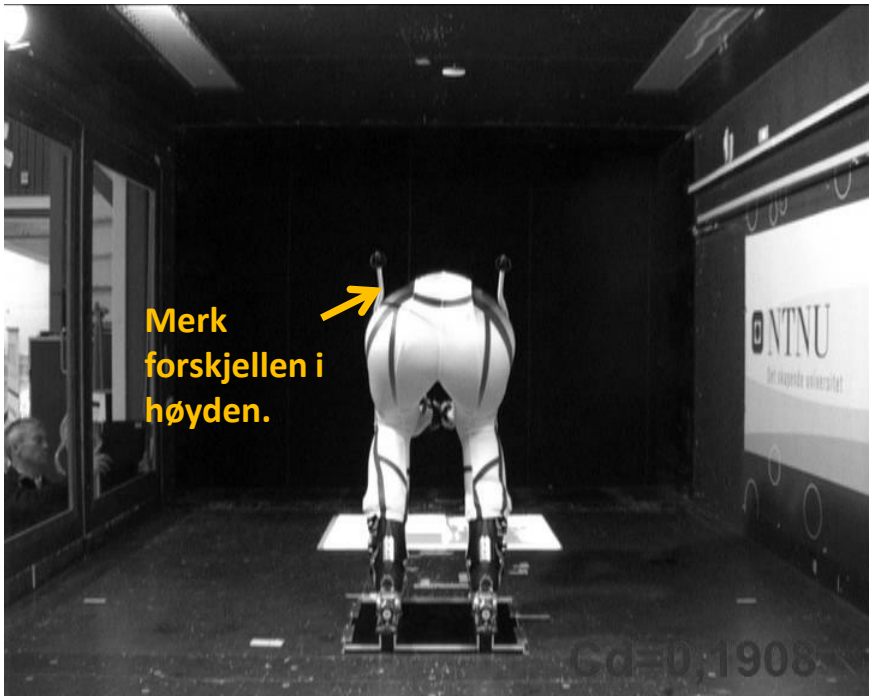
Posisjon 2: **Lav Hockey med Rundet Rygg**

POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

Posisjon 1: Flatt rygg, parallel med vinden.



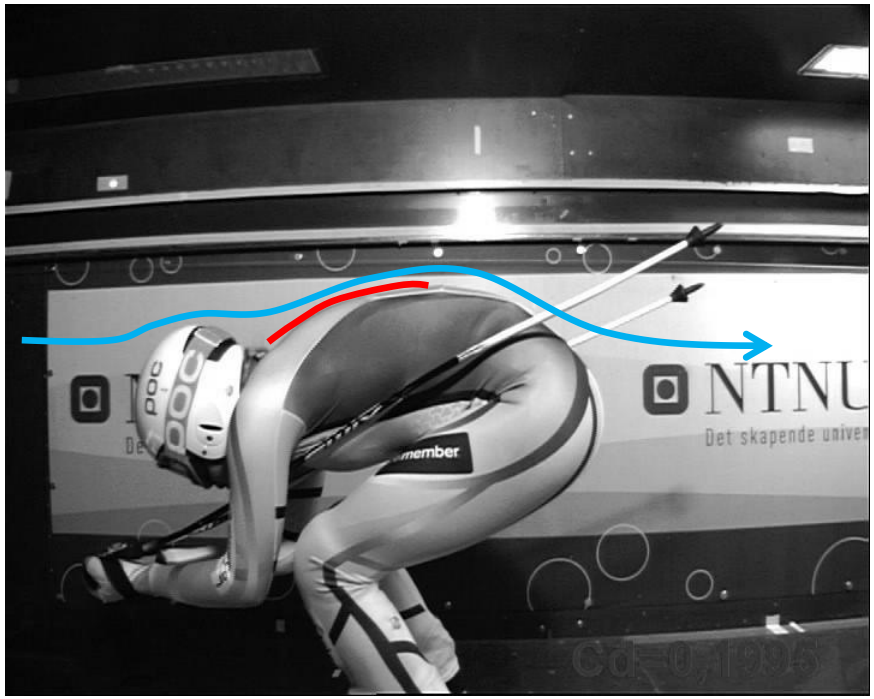


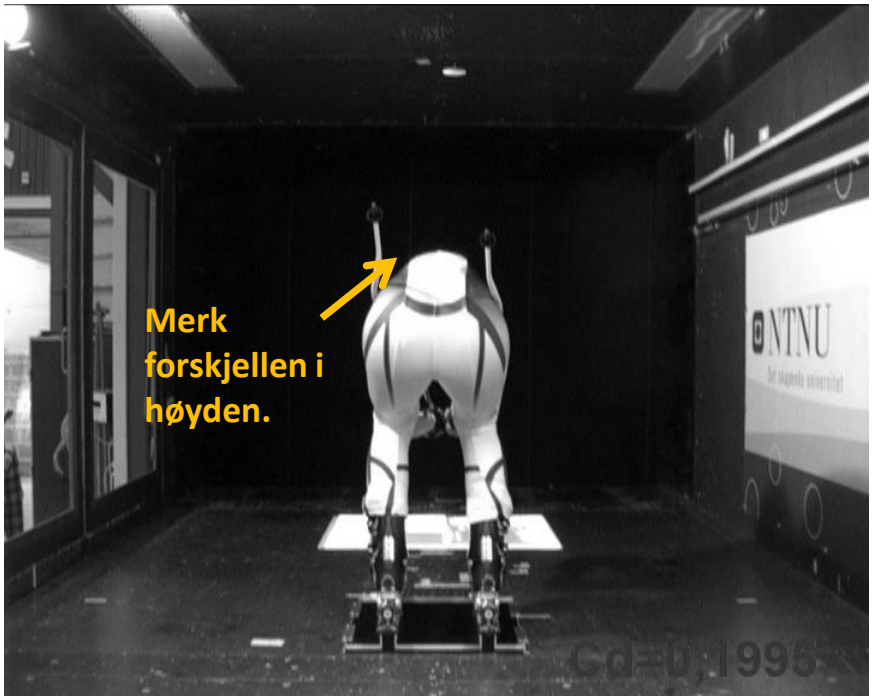
C_DA: 0,1908

POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

Posisjon 2: Rundet rygg

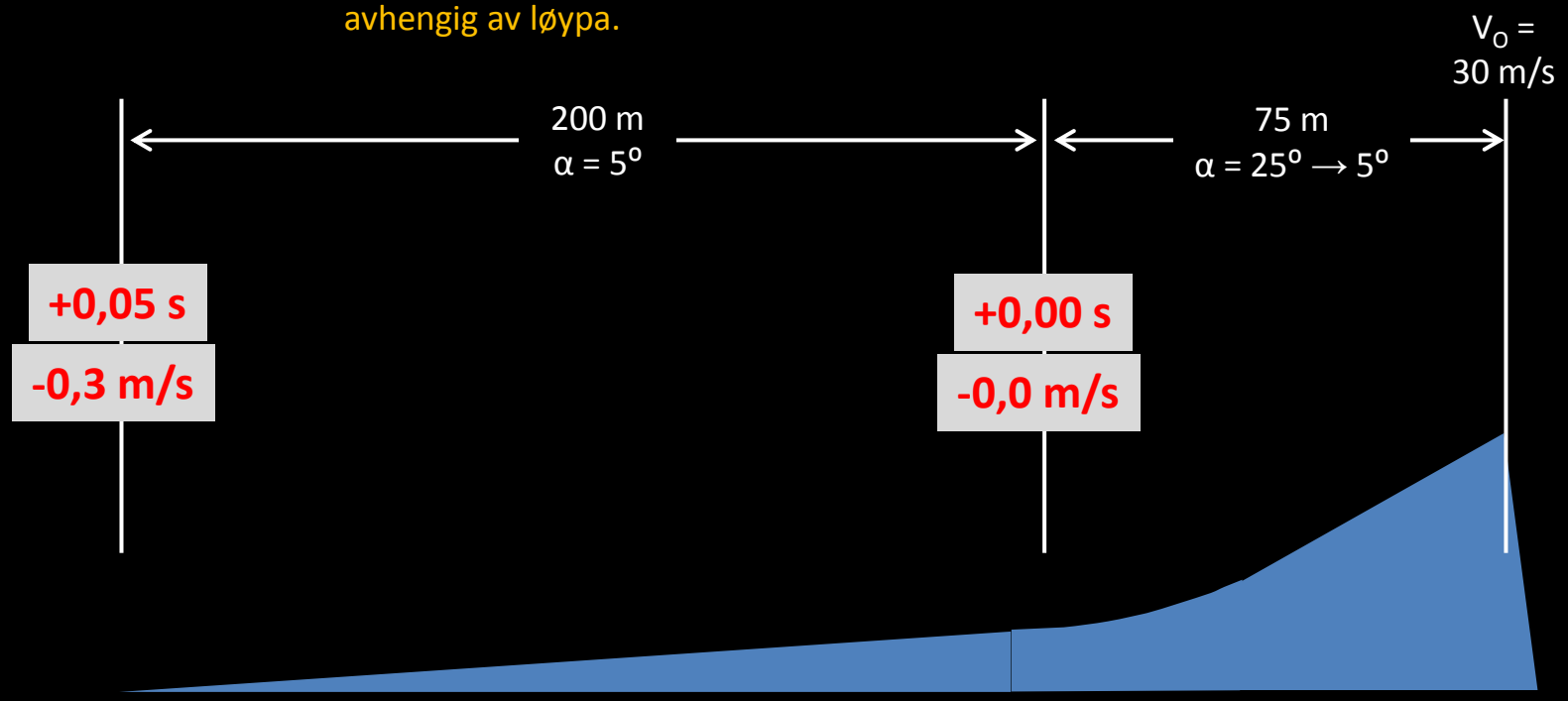




C_DA: 0,1995

Simulasjonsresultater: Flatt vs Rundet rygg

- Rundet rygg hockey taper 0.05 sek over 200 m glid med likt inngangshastighet.
- Hastighets tapet er også betydelig og kan føre til videre tidstap avhengig av løypa.



BEST TUCK

CDA = 0,1908

CDA = 0,2689

CDA = 0,1995

LOW TUCK, ROUNDED BACK

m [kg] :	81,3 med utstyr
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Punkt 4: Slipp luftstrømmen mellom leggene

Posisjon 1: **Lav Hockey**

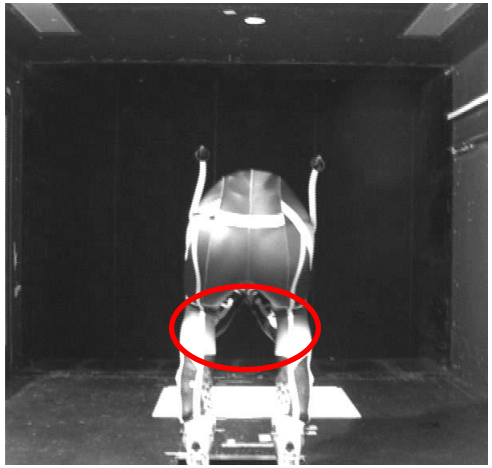
vs.

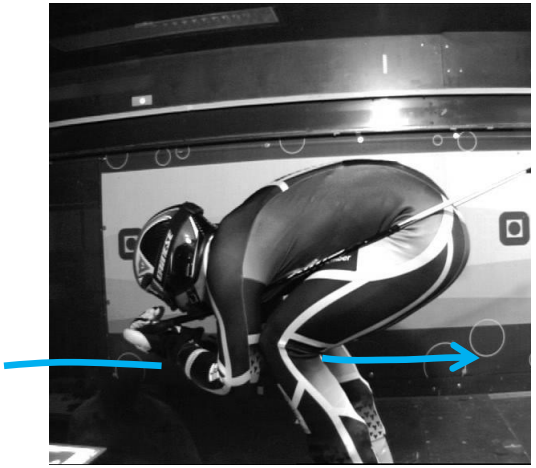
Posisjon 2: **Lav Hockey med Hendene i Kanalen**

POSISJONS TESTING

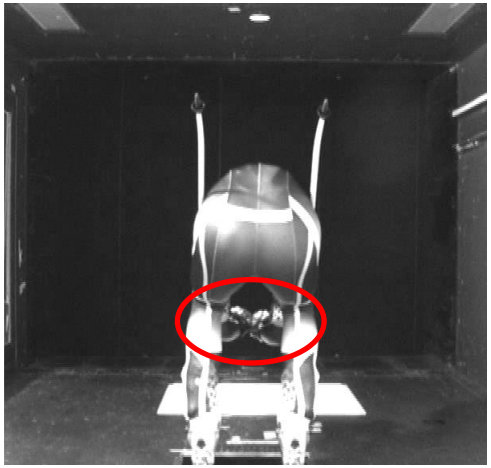
LAV POSISJON

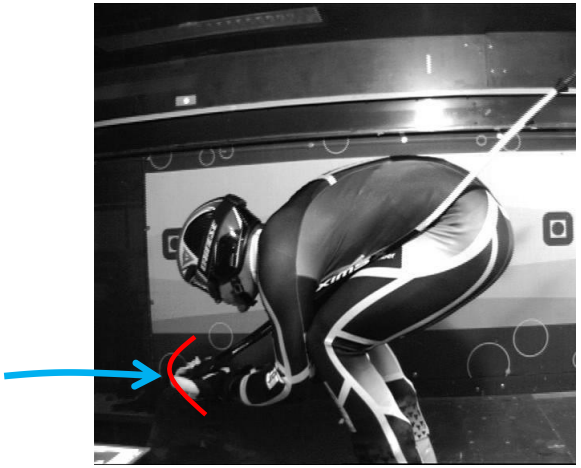
Hendene ut av kanalen gir fri vei for luften til å strømme mellom beina.



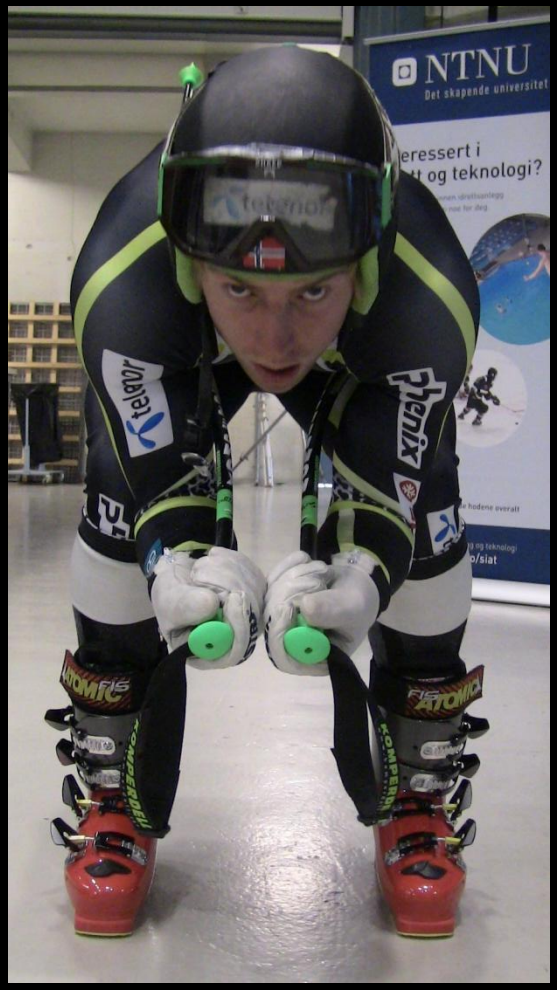


Hendene i kanalen blokkerer luften fra å strømme mellom beina.





Kanalen er åpen og luftstrømmen slipper gjennom



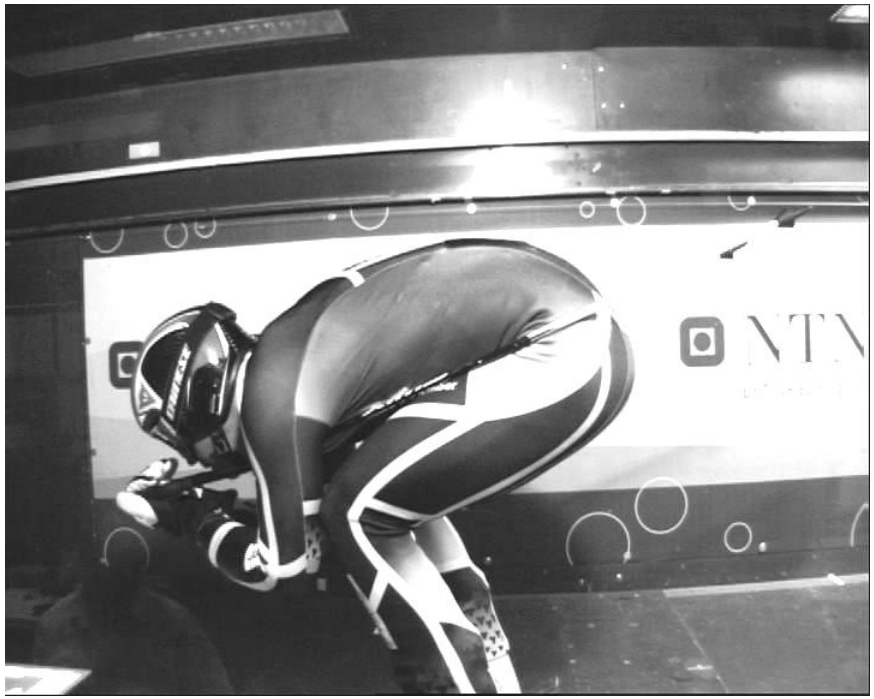
Hendene blokkerer luftstrømmen

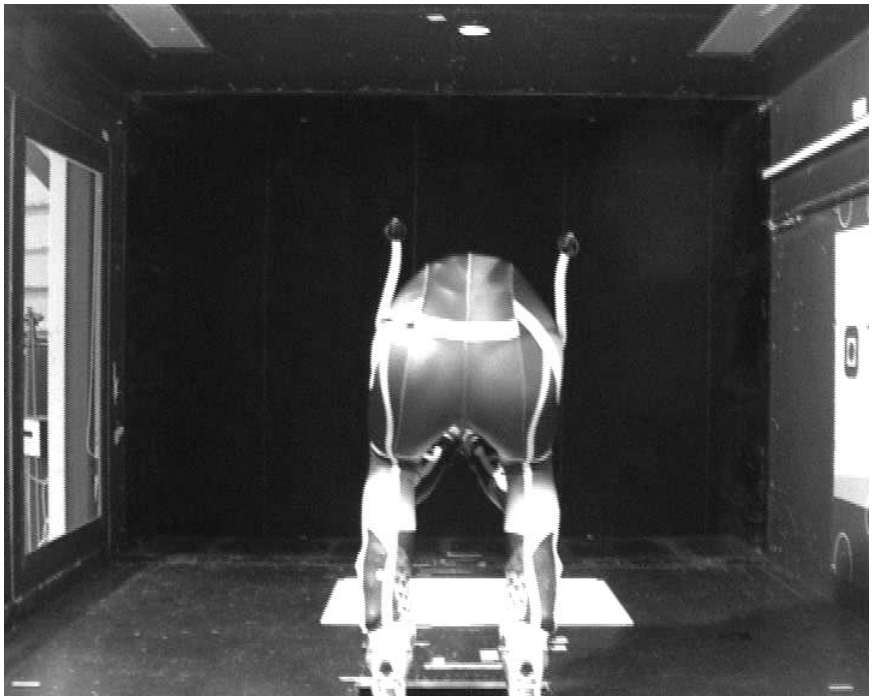
Henden er ut av kanalen, men albuene blokkerer

POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

Posisjon 1: Lav Hockey

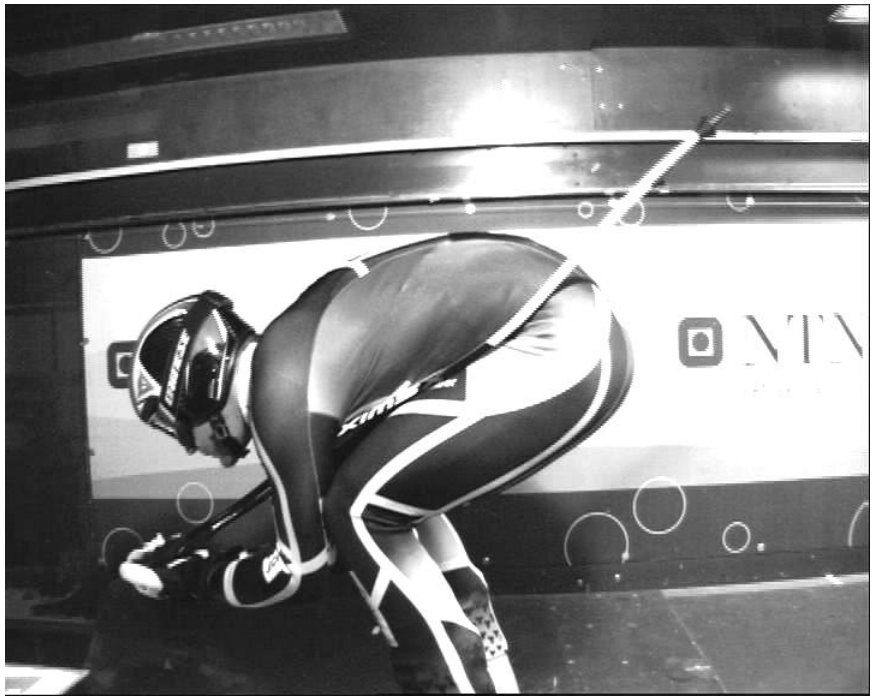


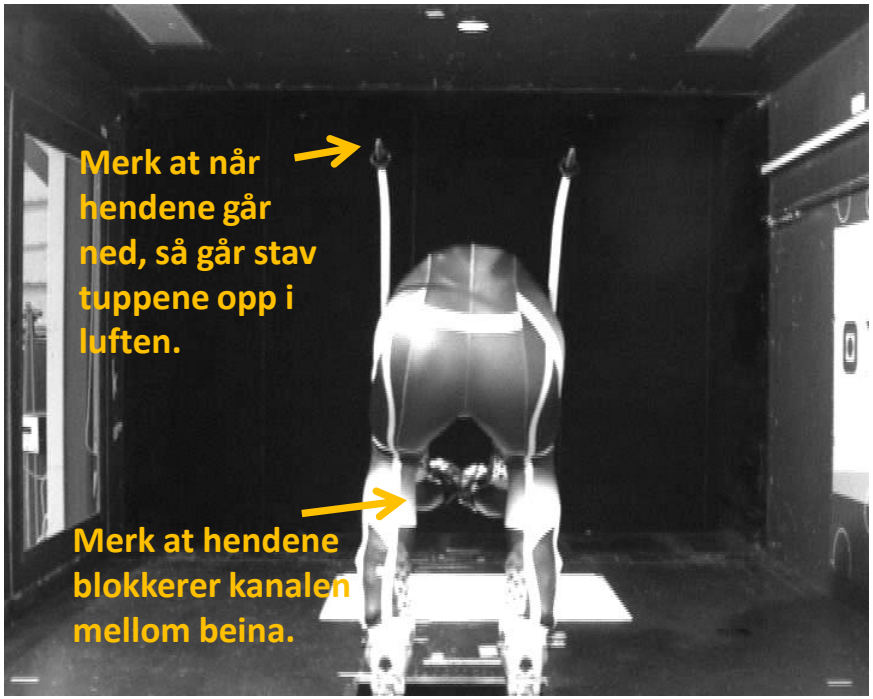


POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

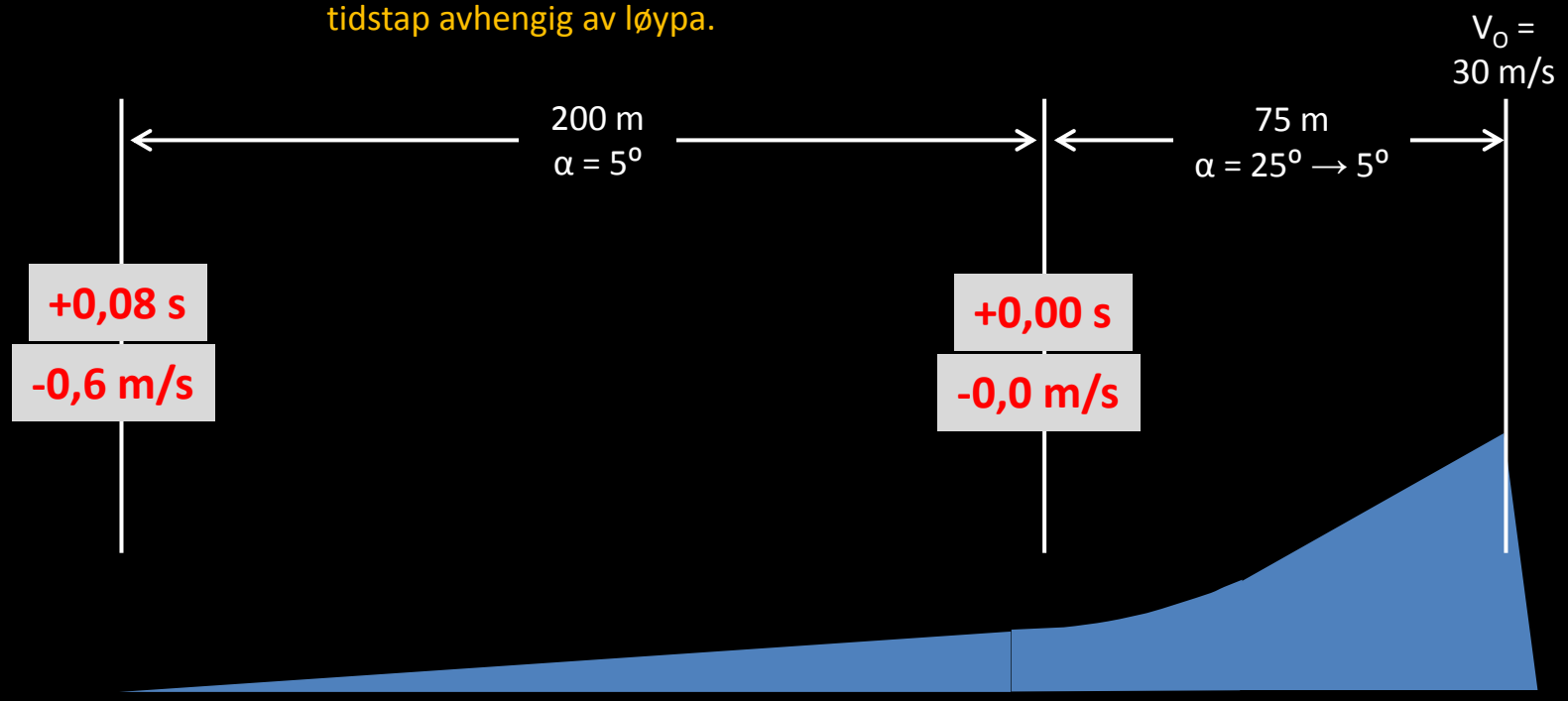
Posisjon 2: Hendene i Kanalen





Simulasjonsresultater: Best Hockey vs Hendene i Kanalen

- Hendene i Kanalen Hockey taper 0.08 sek over 200 m glid med likt inngangshastighet.
- Hastighets tapet er også betydelig og kan føre til videre stor tidstap avhengig av løypa.



LAV HOCKEY

CDA = 0,185

CDA = 0,207

CDA = 0,202

LAV HOCKEY, HENDENE I KANALEN

m [kg] :	99,9 med utstyr
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Oppsummering Lav Posisjon

Posisjon 1: **Normal Hockey**

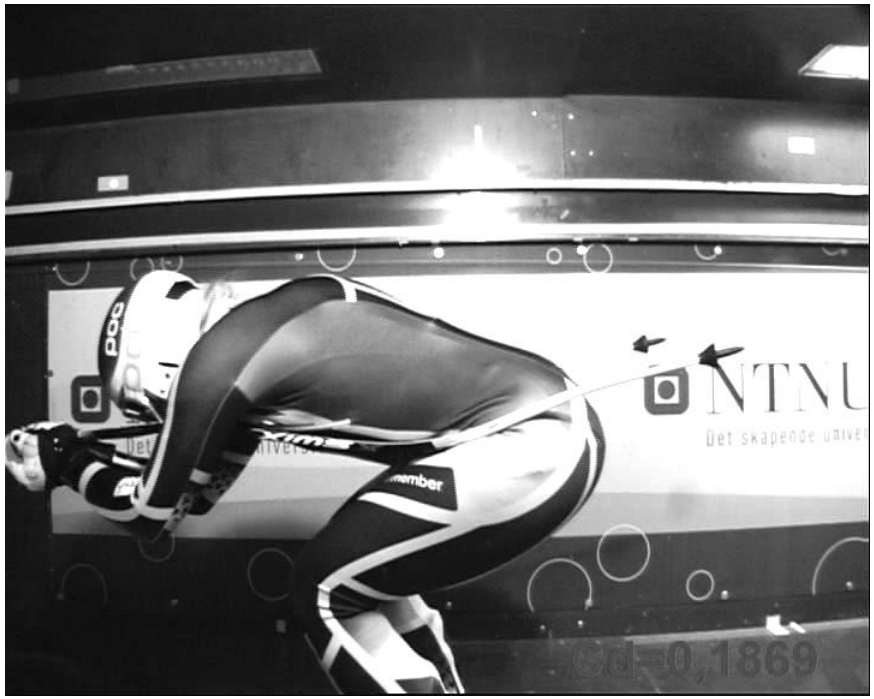
vs.

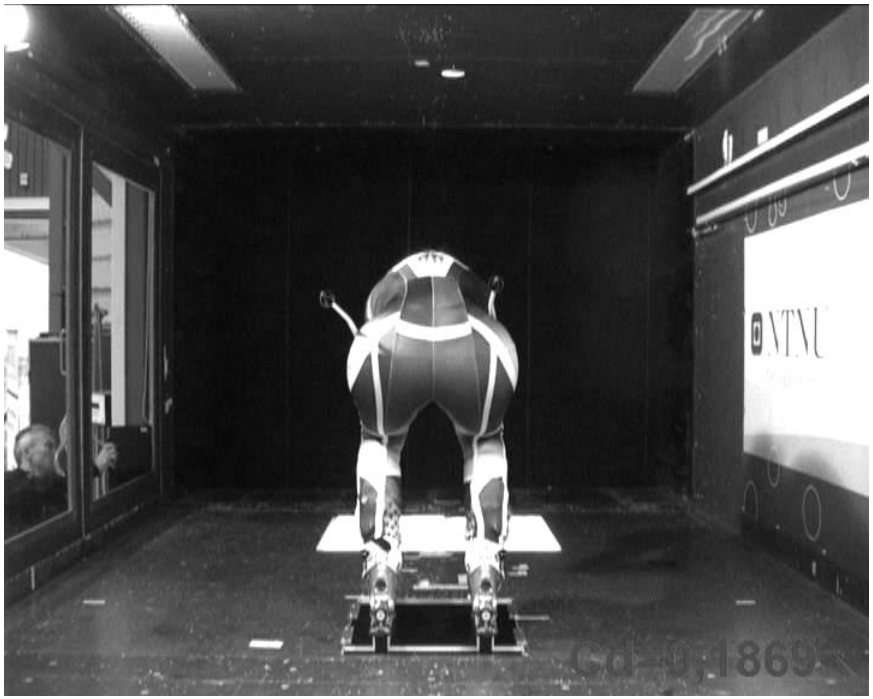
Posisjon 2: **Alt er Feil Hockey**

POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

Posisjon 1: Normal Hockey

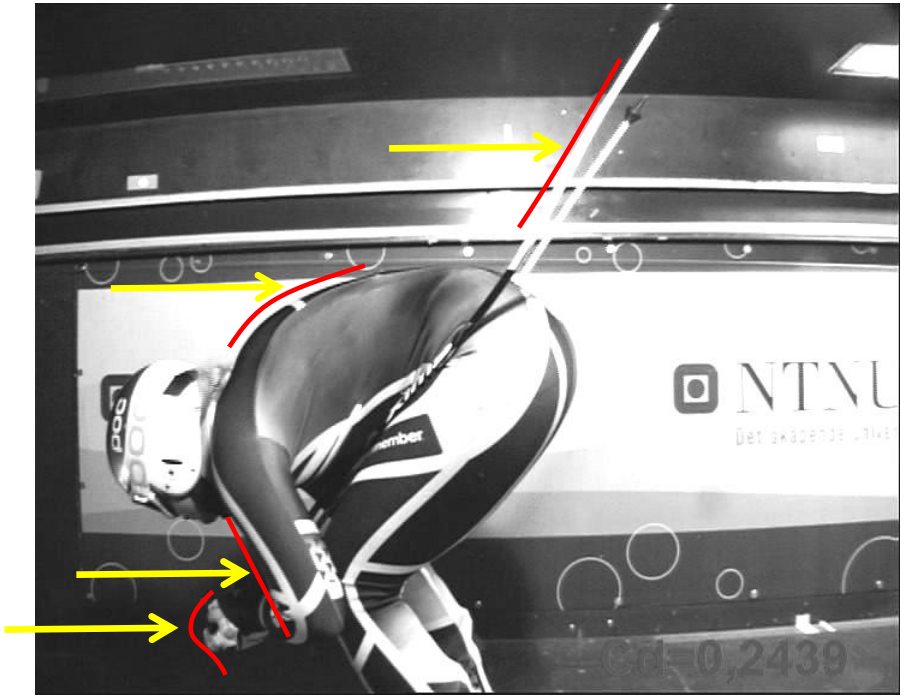


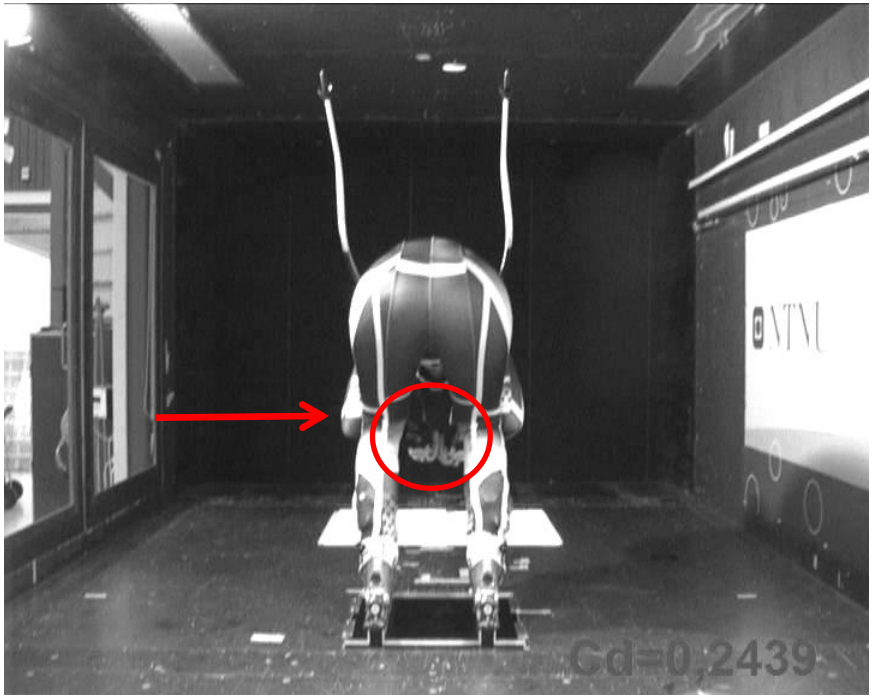


POSISJONS TESTING

LAV POSISJON

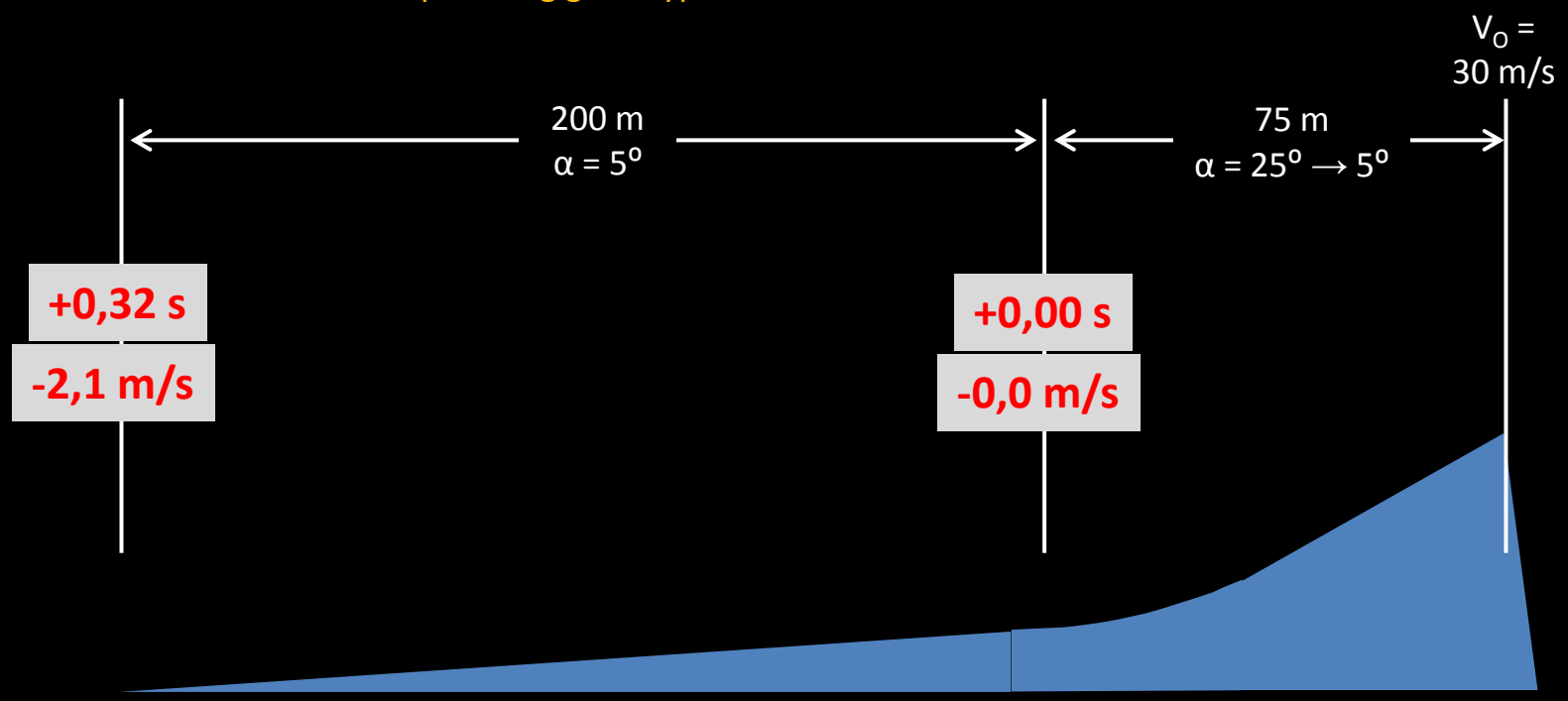
Posisjon 2: Alt er Feil Hockey





Simulasjonsresultater: Normal Hockey vs Alt er Feil

- Alt er Feil Hockey taper 0.32 sek over 200 m glid.
- Hastighets tapet er også betydelig og kan føre til videre stor tidstap avhengig av løypa.



NORMAL HOCKEY

CDA = 0,1869

CDA = 0,2690

CDA = 0,2439

ALT ER FEIL HOCKEY

m [kg] :	85,4 med utstyr
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Punkt 1: Jo lavere posisjon, jo mindre luftmotstand

Posisjon 1: Lav Hockey

vs.

Posisjon 2: Middels Hockey

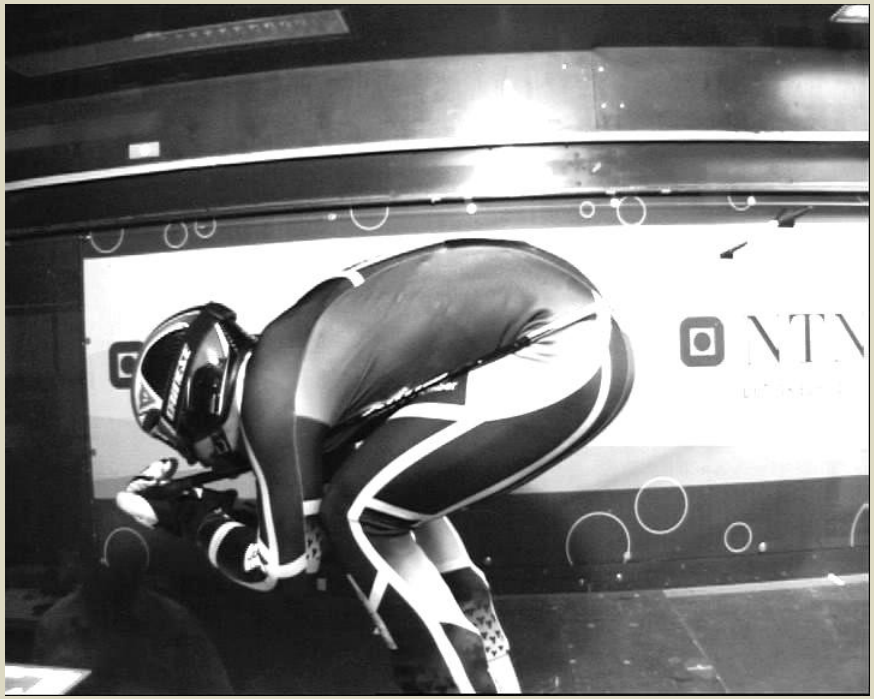
vs.

Posisjon 3: Høy Hockey

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 1: Lav Hockey

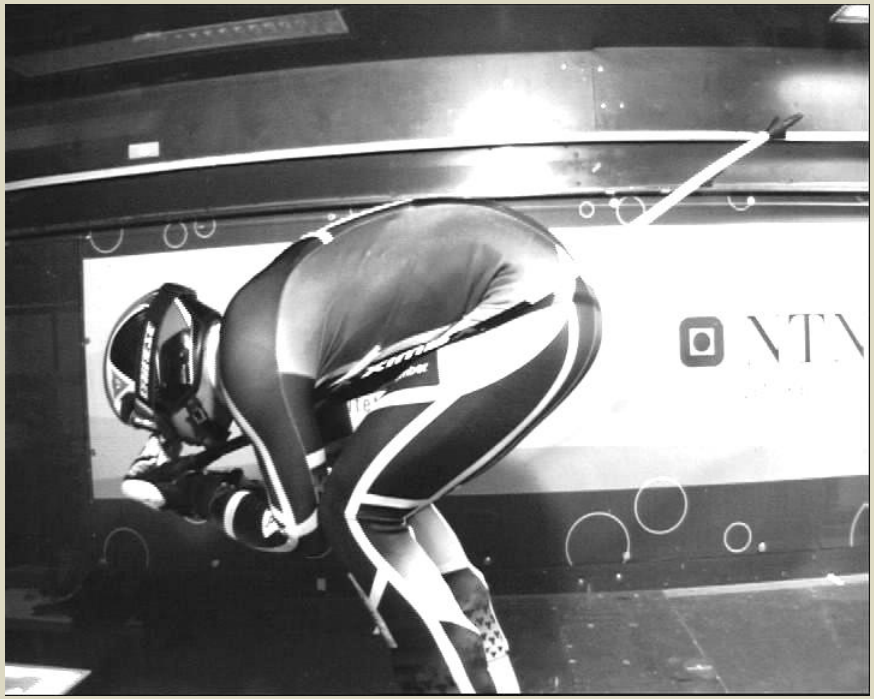


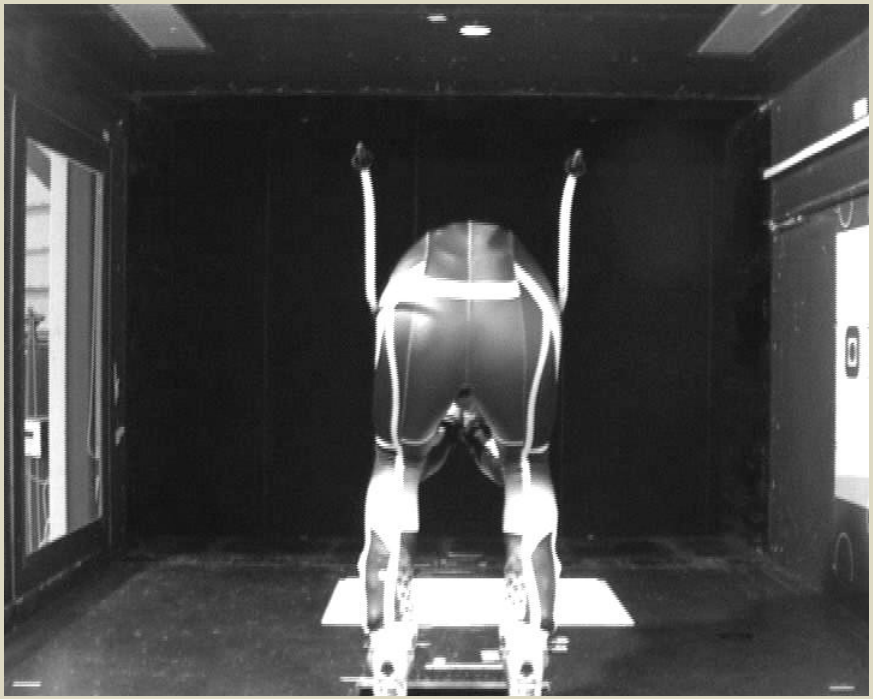
C_DA: 0,185

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 2: Middels Hockey



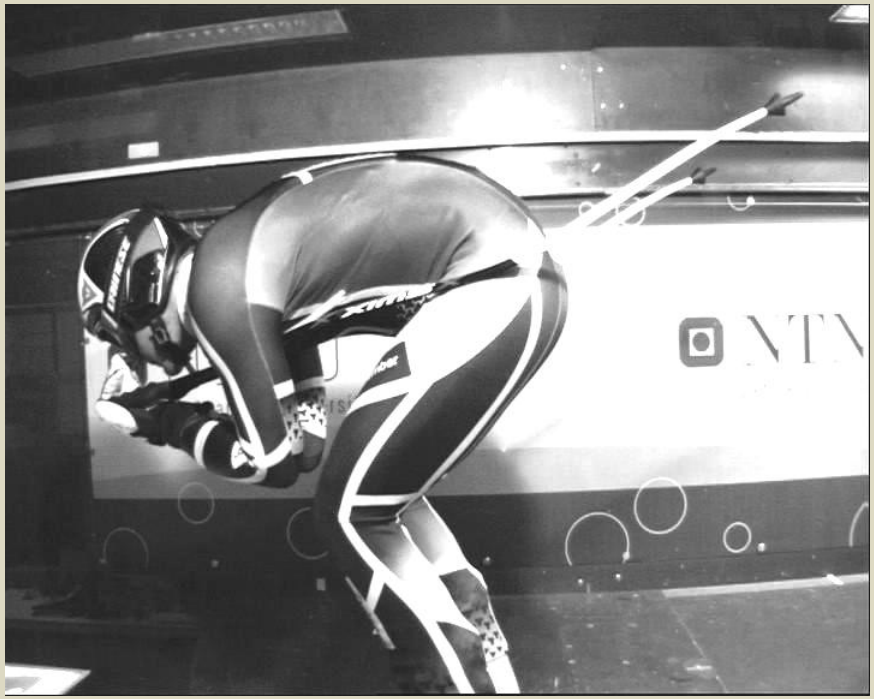


C_DA: 0,207

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

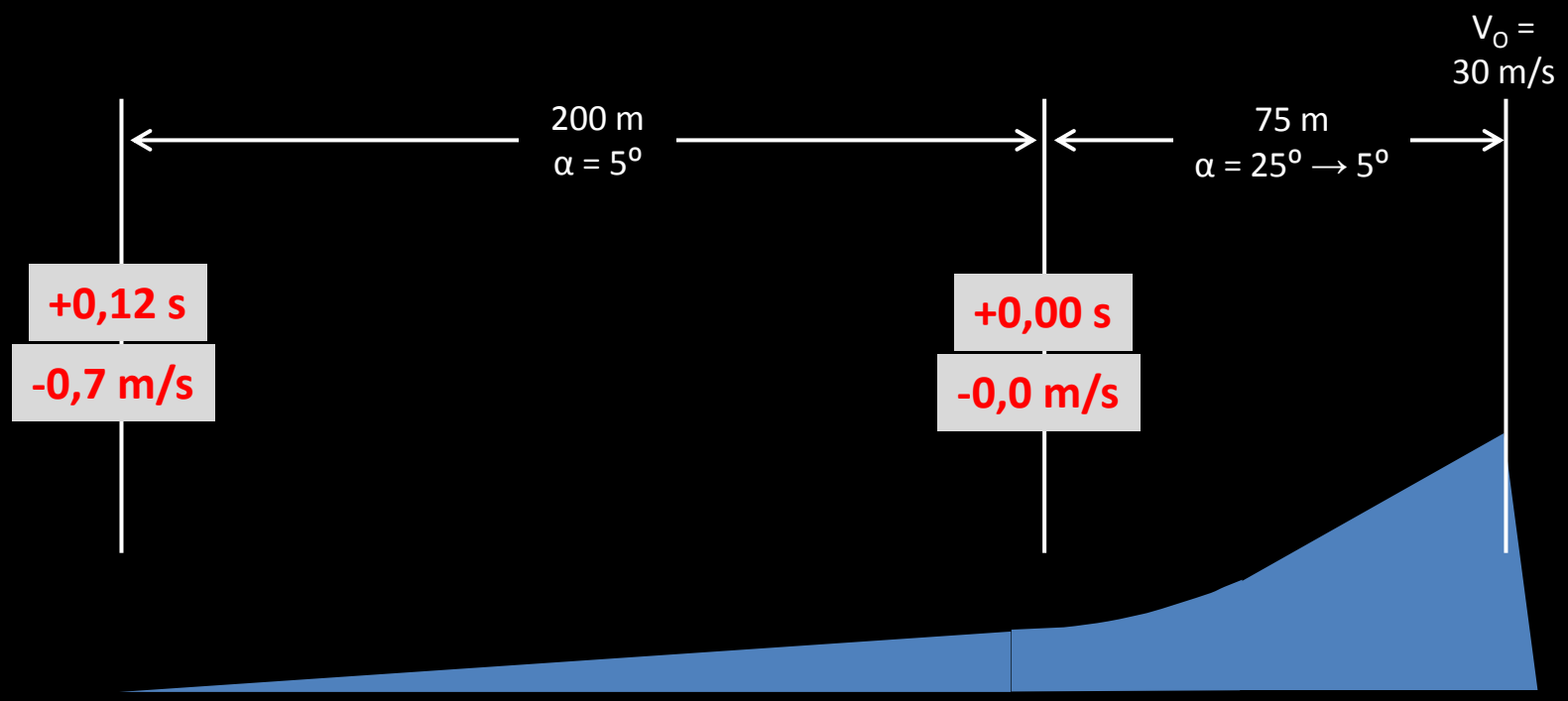
Posisjon 3: Høy Hockey



C_DA: 0,232

Simulasjonsresultater: Lav Hockey vs Middels Hockey

- Middels Hockey taper 0.12 sek over 200 m glid med likt inngangshastighet.
- Hastighets tapet er også betydelig og kan føre til videre stor tidstap avhengig av løypa.



LAV HOCKEY

CDA = 0,185

CDA = 0,232

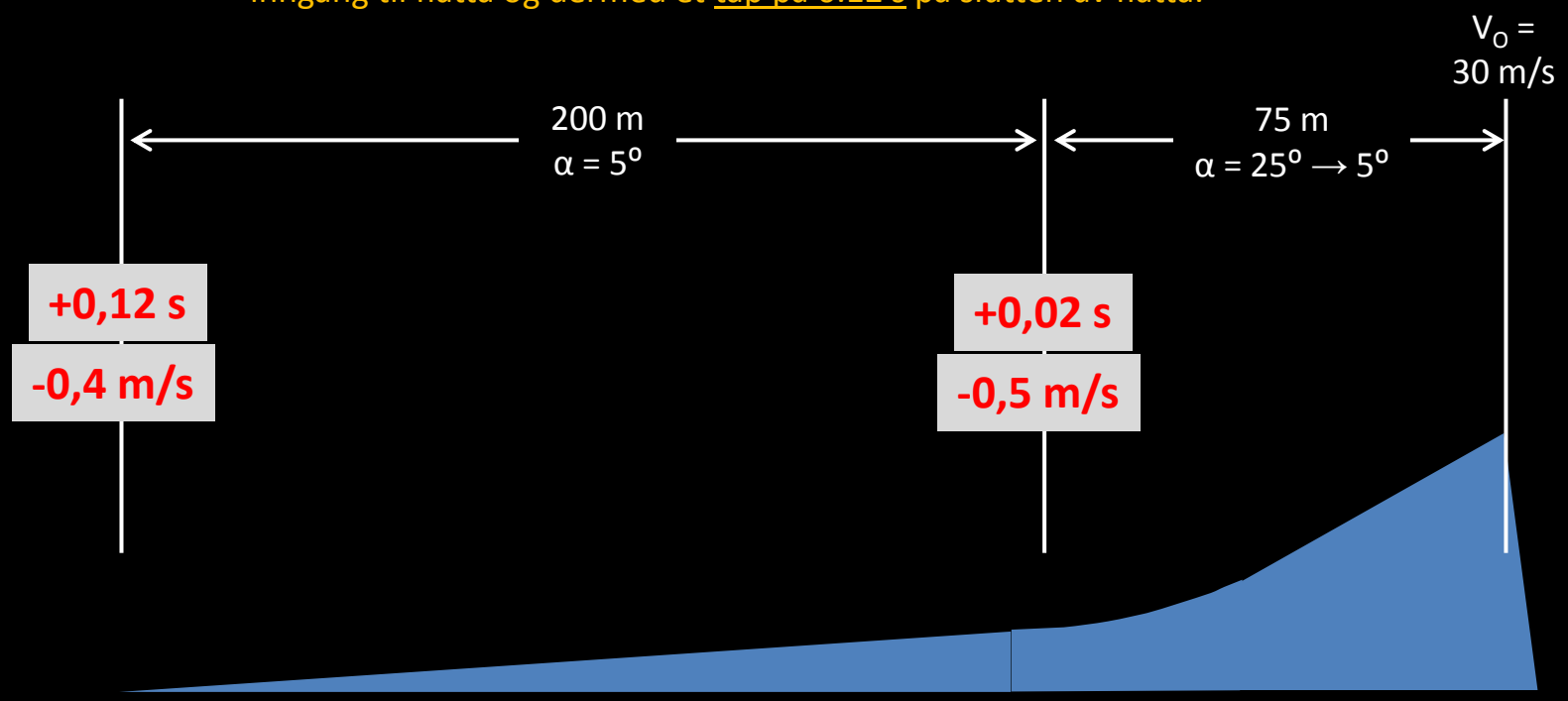
CDA = 0,207

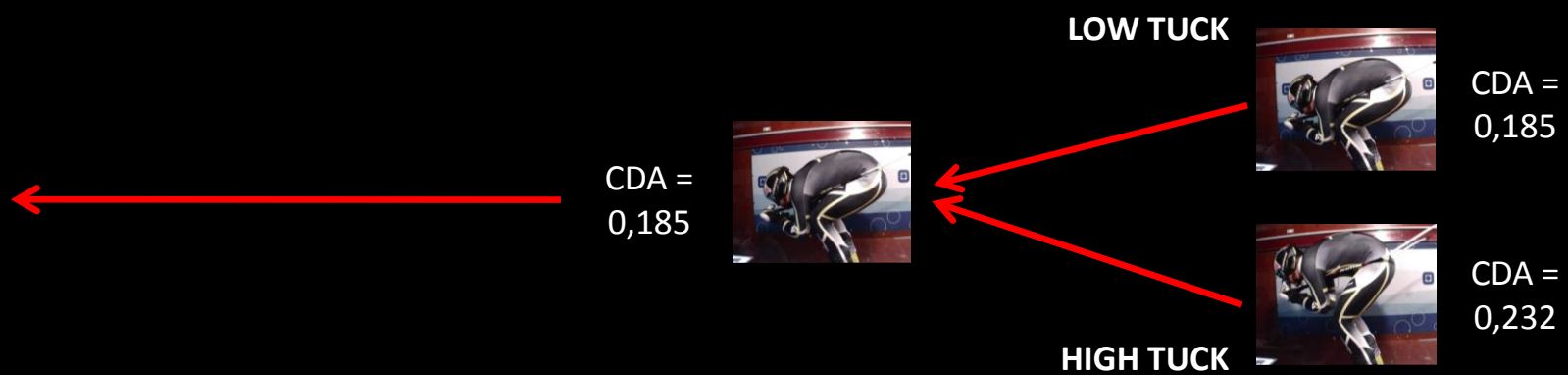
MIDDELS HOCKEY

m [kg] :	99,9 med utstyr
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Simulasjonsresultater: Lav Hockey vs Høy Hockey

- I denne simulasjon er kontrast i posisjonen i bratta.
- Samme posisjon er brukt på flatta.
- Forskjellen i Lav og Høy hockey i slutten av en heng fører til hastighets tap i inngang til flatta og dermed et <u>tap på 0.12 s</u> på slutten av flatta.





m [kg] :	99,9
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Punkt 2: Hold armene innenfor kroppens omriss

Posisjon 1: Kompakt Høy Hockey

vs.

Posisjon 2: Åpen Høy Posisjon

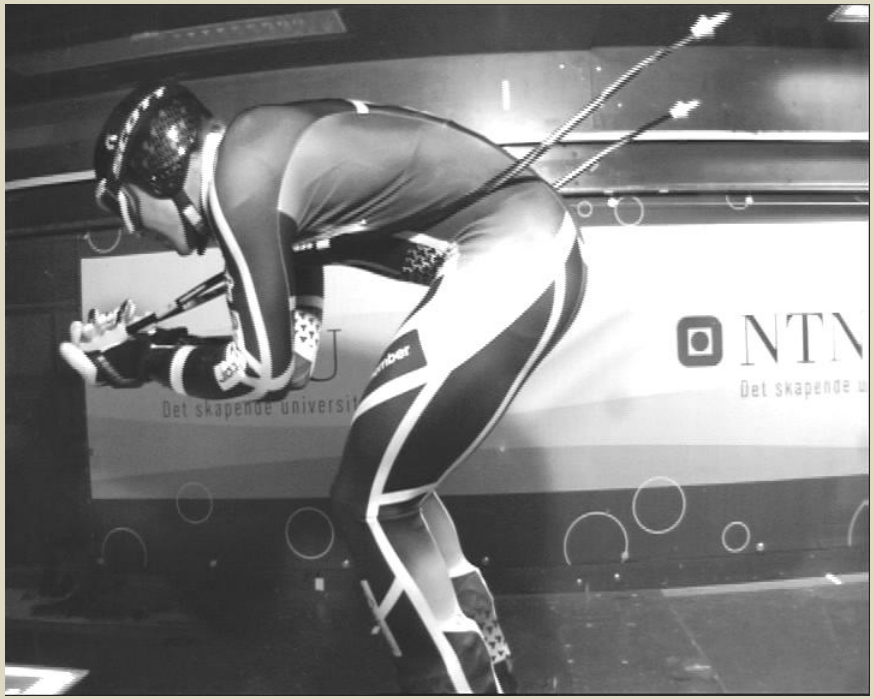
vs.

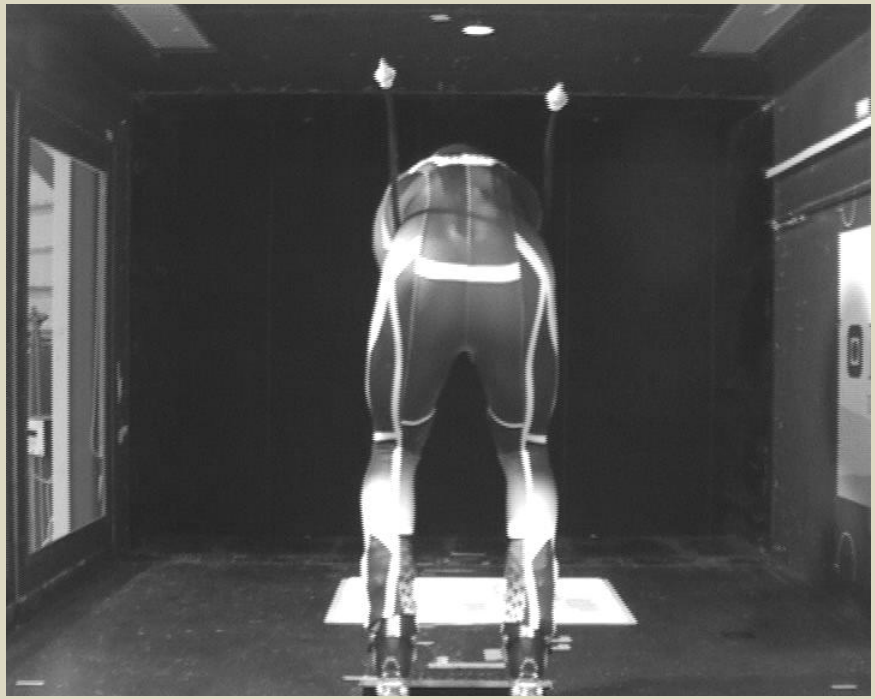
Posisjon 3: Åpen Høy Posisjon med Armer Ut

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 1: Kompakt Høy Hockey



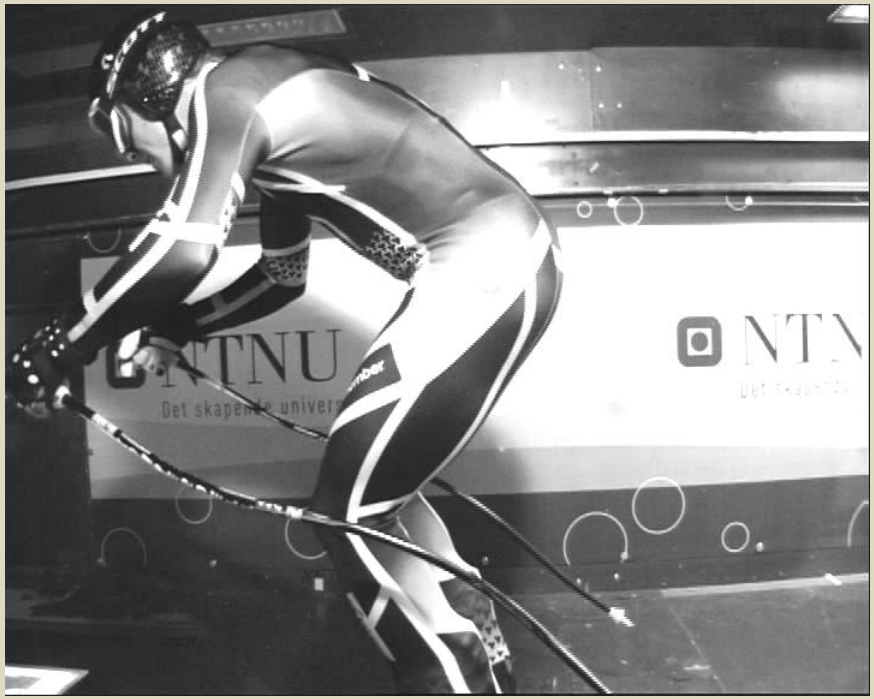


C_DA: 0,272

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 2: Åpen Høy Posisjon

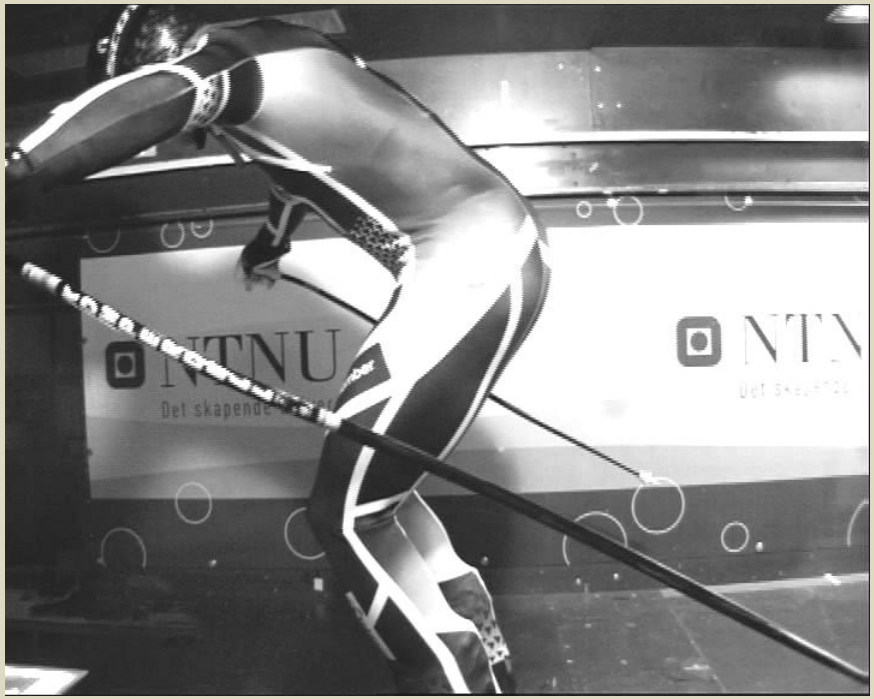


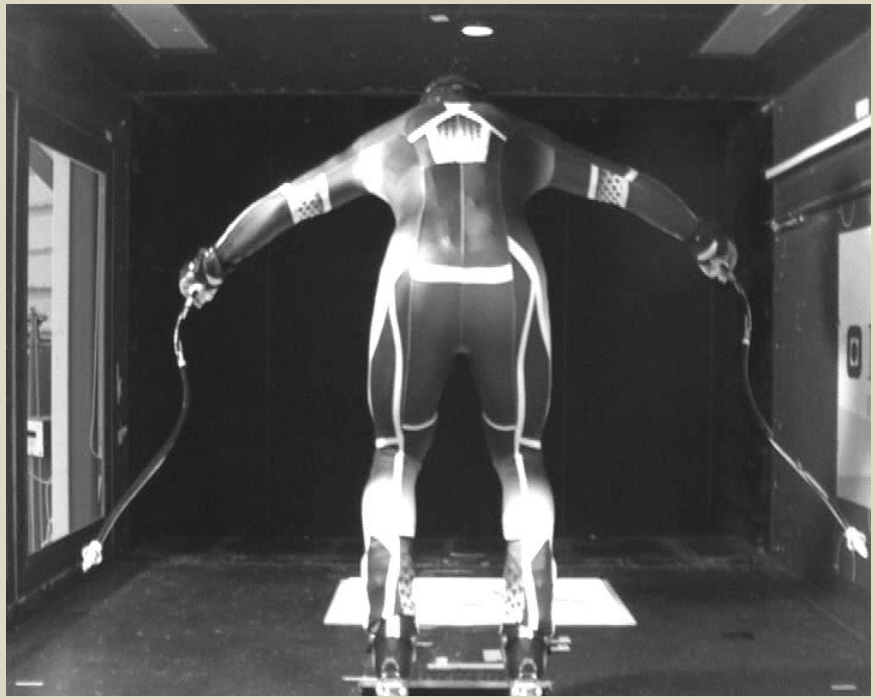
C_DA: 0,372

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 3: Åpen Høy Posisjon med Armer Bredt

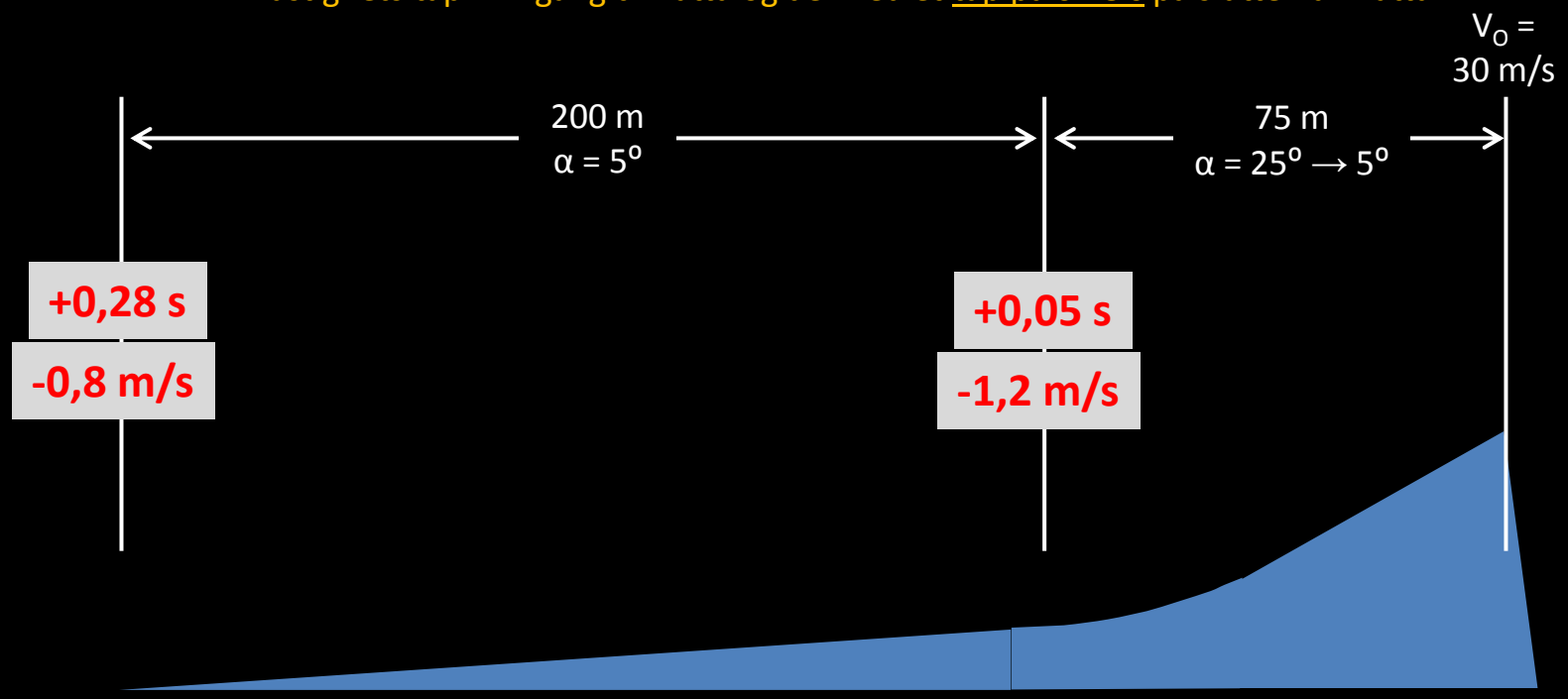




C_DA: 0,465

Simulasjonsresultater: Kompakt Høy Hockey vs Åpen

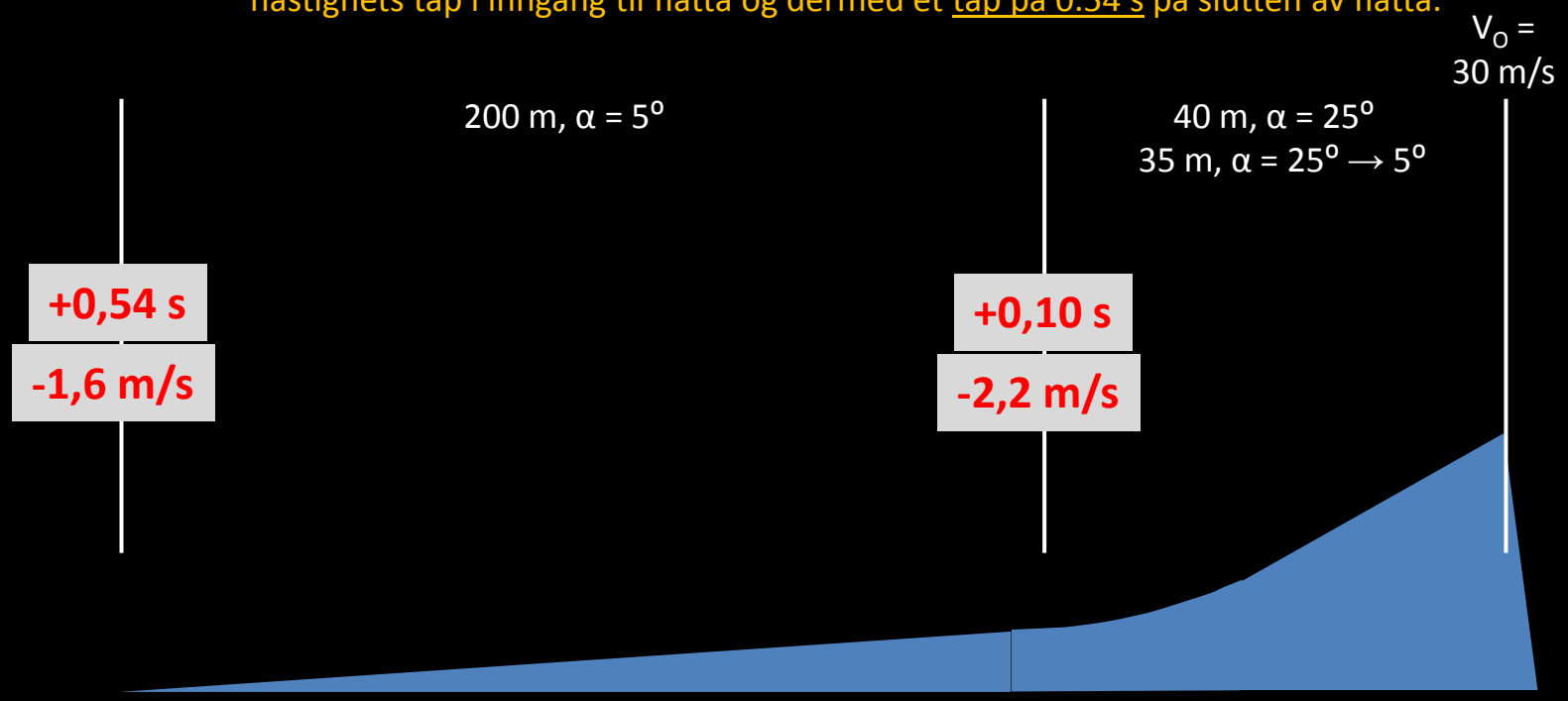
- I denne simulasjon er kontrast i posisjonen i bratta.
- Samme posisjon er brukt på flatta.
- Forskjellen i Kompakt og Åpen posisjon i slutten av en heng fører til stor hastighets tap i inngang til flatta og dermed et tap på 0.28 s på slutten av flatta.



m [kg] :	97,2
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Simulasjonsresultater: Åpen Posisjon vs Armer Bredt

- I denne simulasjon er kontrast i posisjonen i bratta.
- Samme posisjon er brukt på flatta.
- Forskjellen i Åpen og Armer Bredt posisjon i slutten av en heng fører til stor hastighets tap i inngang til flatta og dermed et <u>tap på 0.54 s</u> på slutten av flatta.



m [kg] :	97,2
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

Punkt 3: Hold ryggen parallelt med luftstrømmen

Posisjon 1: Høy Hockey, Parallel Rygg

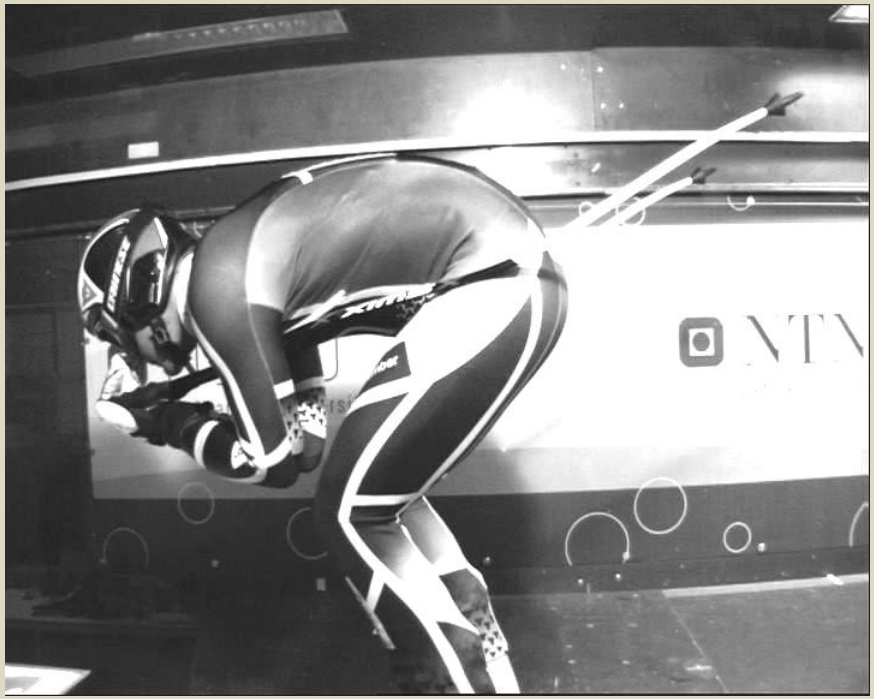
vs.

Posisjon 2: Høy Hockey, Oppreist Rygg

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 1: Høy Hockey, Parallel Rygg

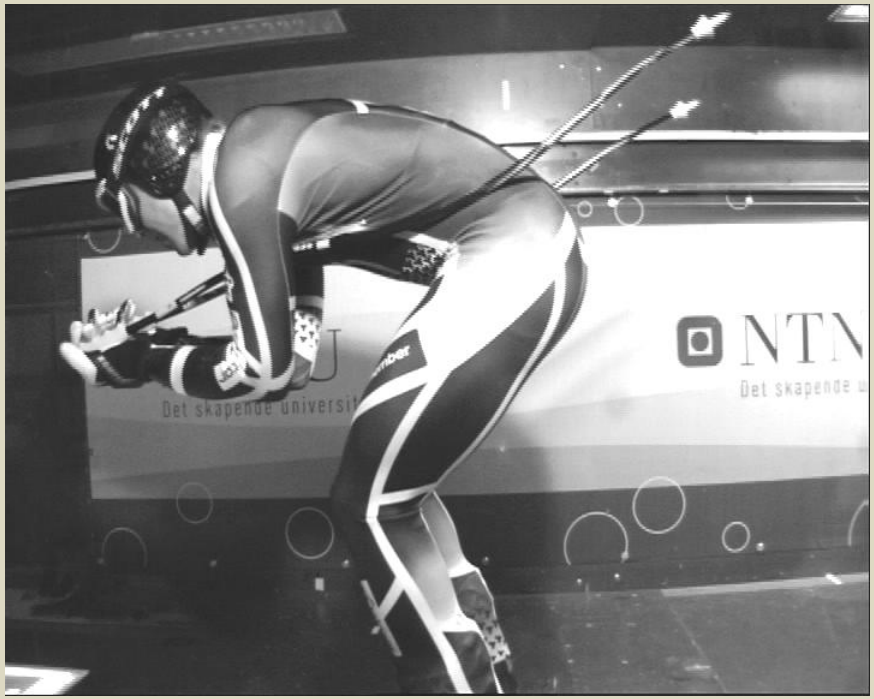


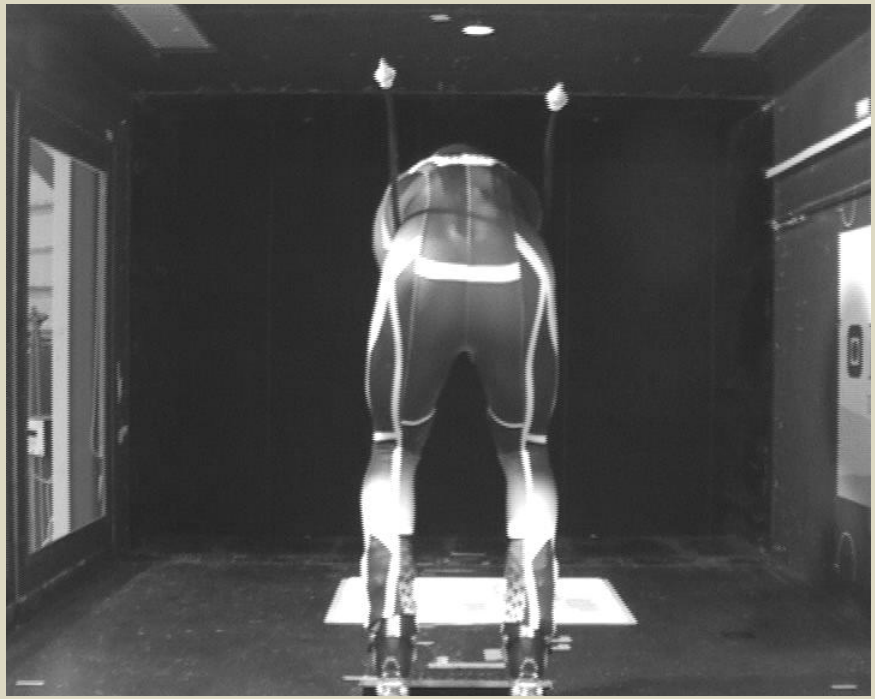
C_DA: 0,232

POSISJONS TESTING

HØY POSISJON

Posisjon 2: Høy Hockey, Oppreist Rygg

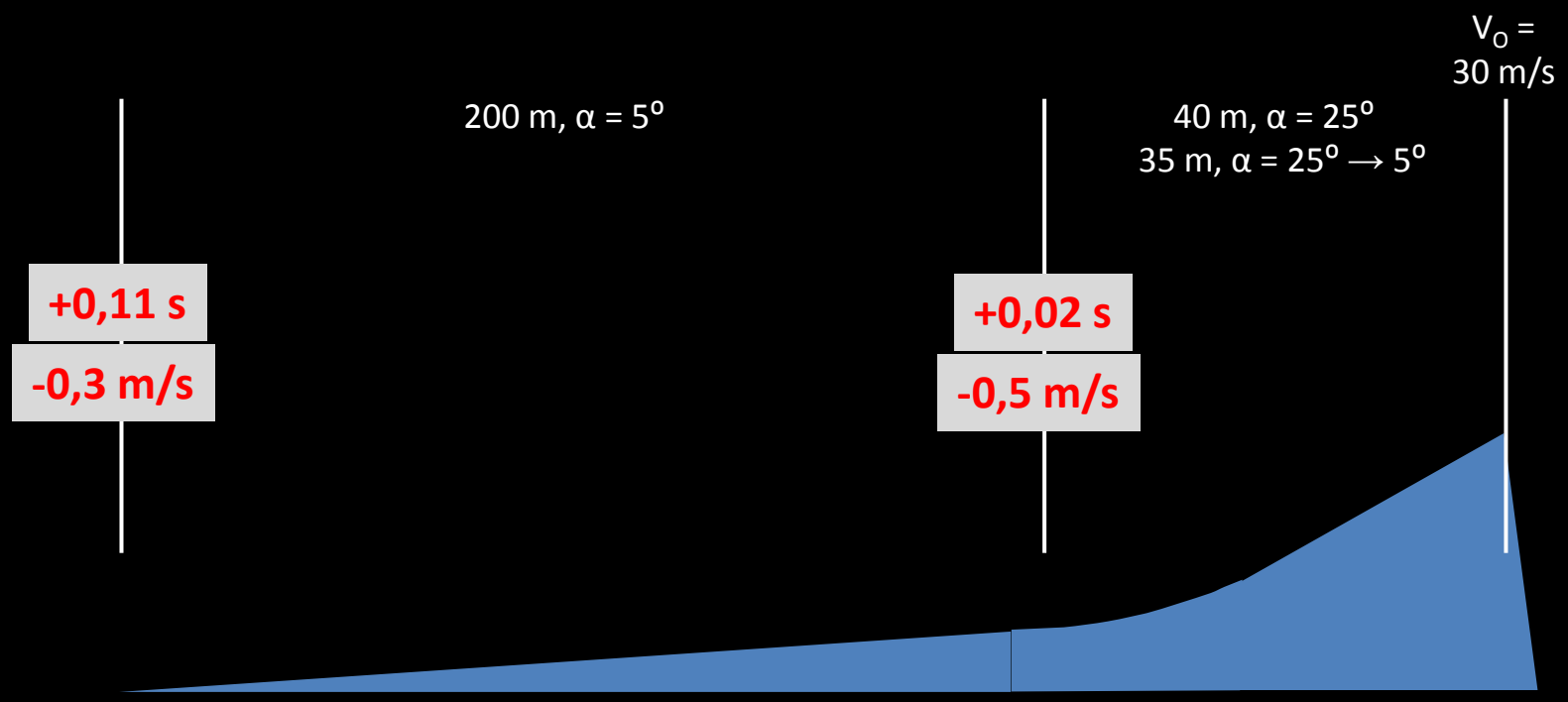




C_DA: 0,272

Simulasjonsresultater: Parallel Rygg vs Oppreist Rygg

•Forskjellen mellom Parallel og Oppreist posisjon i slutten av en heng fører til hastighets tap i inngang til flatta og dermed et tap på 0.11 s på slutten av flatta.



PARALLEL RYGG

CDA = 0,232

CDA = 0,185

CDA = 0,272

OPPREIST RYGG

m [kg] :	97,2
ρ :	1,32
C_F :	0,05
g [m/s²] :	9,807

UTSTYR TESTING

ARM PADDING

Punkt 1: Arm padding kan øke luftmostand betydelig

RESULTATER SEJERSTED

NO PADS	+ 0.08 sek* ARM PAD 1 (ortema)	+ 0.06 sek* GS SUIT (med pads)

* Estimert tid tapt i forhold til NO PADS gjennom utgang heng til 200 m flatt glid.

Punkt 1: Arm padding kan øke luftmostand betydelig

RESULTATER KILDE

+ 0.11 sek*	**+ 0.09 sek***	**+ 0.15 sek***
ARM PAD 1	ARM PAD 2 (tynn)	ARM PAD 3 (tykk)

* Estimert tid tapt i forhold til NO PADS gjennom utgang heng til 200 m flatt glid.

Punkt 1: Arm padding kan øke luftmostand betydelig

RESULTATER BJERTNESS

+ 0.17 sek*

ARM PAD 4 (tykk, energipura)

* Estimert tid tapt i forhold til NO PADS gjennom utgang heng til 200 m flatt glid.

OPPSUMMERING

LAV HOCKEY POSISJON TESTING

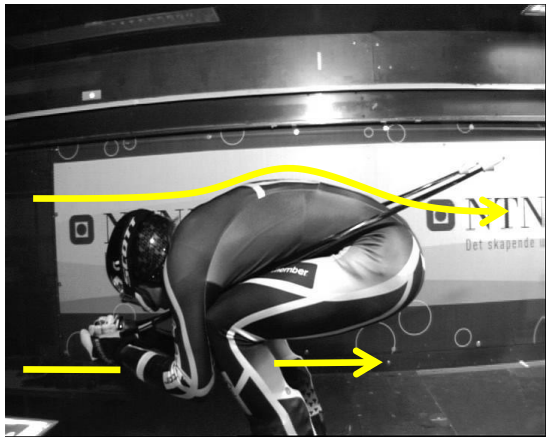
Punkt 1: Hold armene innenfor kroppens omriss

Punkt 2: Hold ryggen parallelt med luftstrømmen

Punkt 3: Slipp luftstrømmen mellom leggene

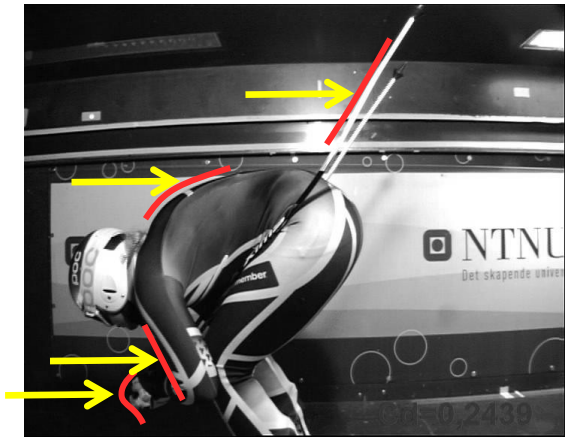
Prestasjons forskjeller (i tid) mellom ulike lav hockey posisjoner er relative små sammenlignet med forskjellene mellom middels og høy posisjoner.

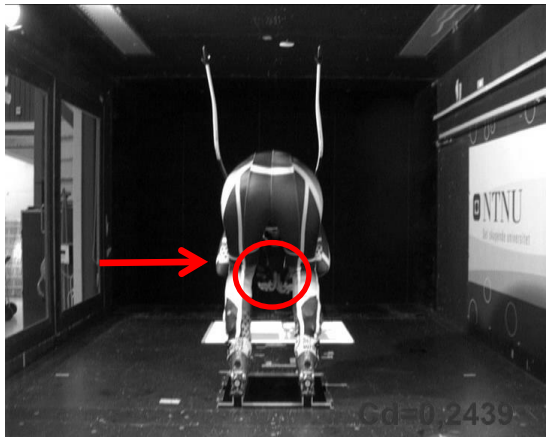
GOD HOCKEY



- Albuer / armer innenfor kroppen
- Ryggen parallelt med luftstrømmen
- Hendene løftet ut av kanalen, luft er fri til å strømme mellom beina

DÅRLIG HOCKEY





- Albuer stikker utenfor kroppen
- Rumpa er løftet
- Hendene er senket ned og blokkerer kanalen mellom beina

OPPSUMMERING

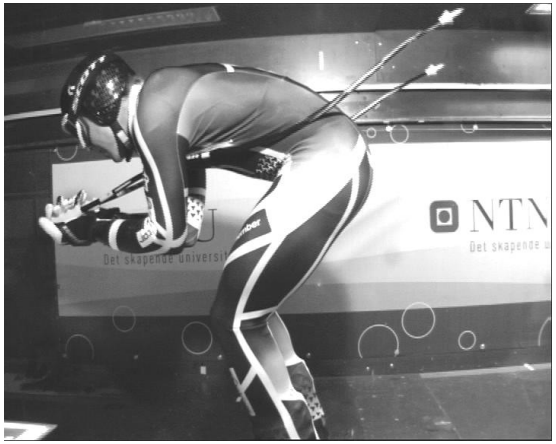
HØY HOCKEY POSISJON TESTING

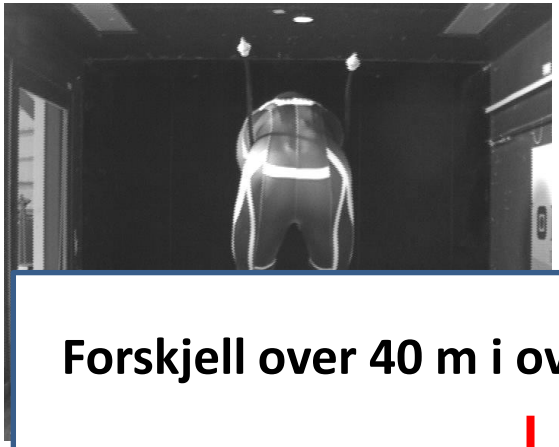
Punkt 1: Jo lavere posisjon, jo lavere luftmotstand

Punkt 2: Hold armene innfor kroppens omriss

Punkt 3: Hold ryggen parallelt med luftstrømmen

GOD HOCKEY





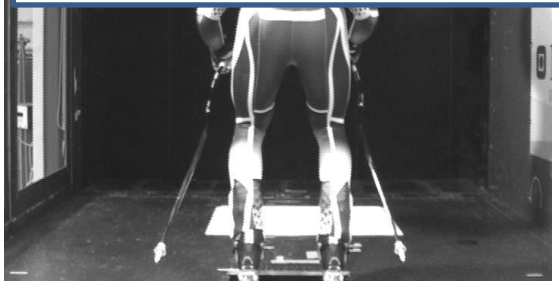
- Albuer / armer innenfor kroppen
- Ryggen parallelt med luftstrømmen

Forskjell over 40 m i overgang bratt til flatt

↓

Nesten 0.30 s tapt etter 200 m flatt

DÅRLIG HOCKEY



OPPSUMMERING

UTSTYR

Punkt 1: Vurder bruk av overkroppspadding – det kommer med en kost

Punkt 2: Dressen skal sitt tight

+ 0.11 sek*

ARM PAD 1

+ 0.09 sek*

ARM PAD 2 (tynn)

+ 0.15 sek*

ARM PAD 3 (tykk)

* Esitmert tid tapt i forhold til NO PADS gjennom utgang heng til 200 m flatt glid.