

ENERGITAB I FORBINDELSE MED TUNNELLEDNING PÅ ØSTERBRO

Elham Ramin

SWECO Danmark A/S

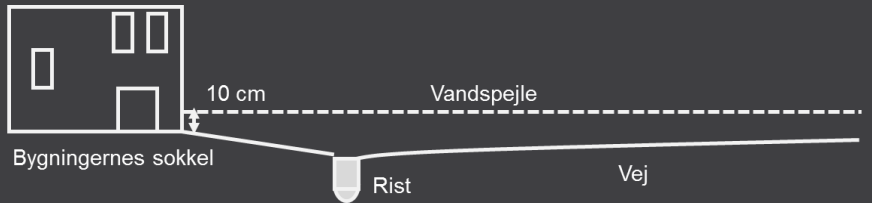
EVA møde 11-05-2017

Skybrudstunnelen Indre Østerbro

Udløb til Nordhavn
bassin

Funktionskrav:

Maksimum 10 cm vand mod hussokkel ved
100 år skybrudshændelse i 2110

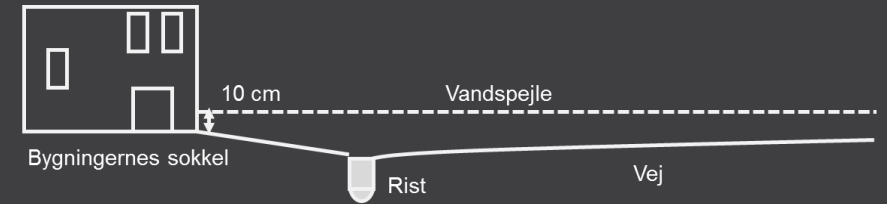


Skybrudstunnelen Indre Østerbro



Funktionskrav:

Maksimum 10 cm vand mod hussokkel ved 100 år skybrudshændelse i 2110

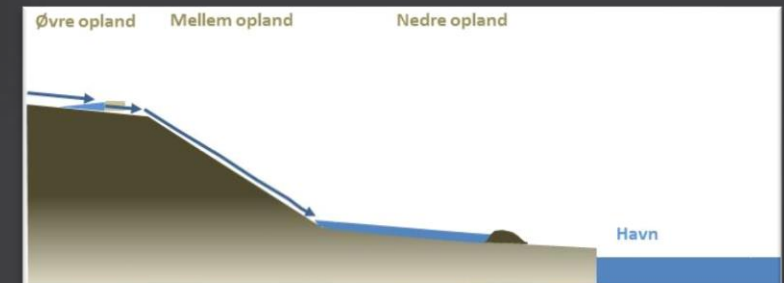


Udfordring I:

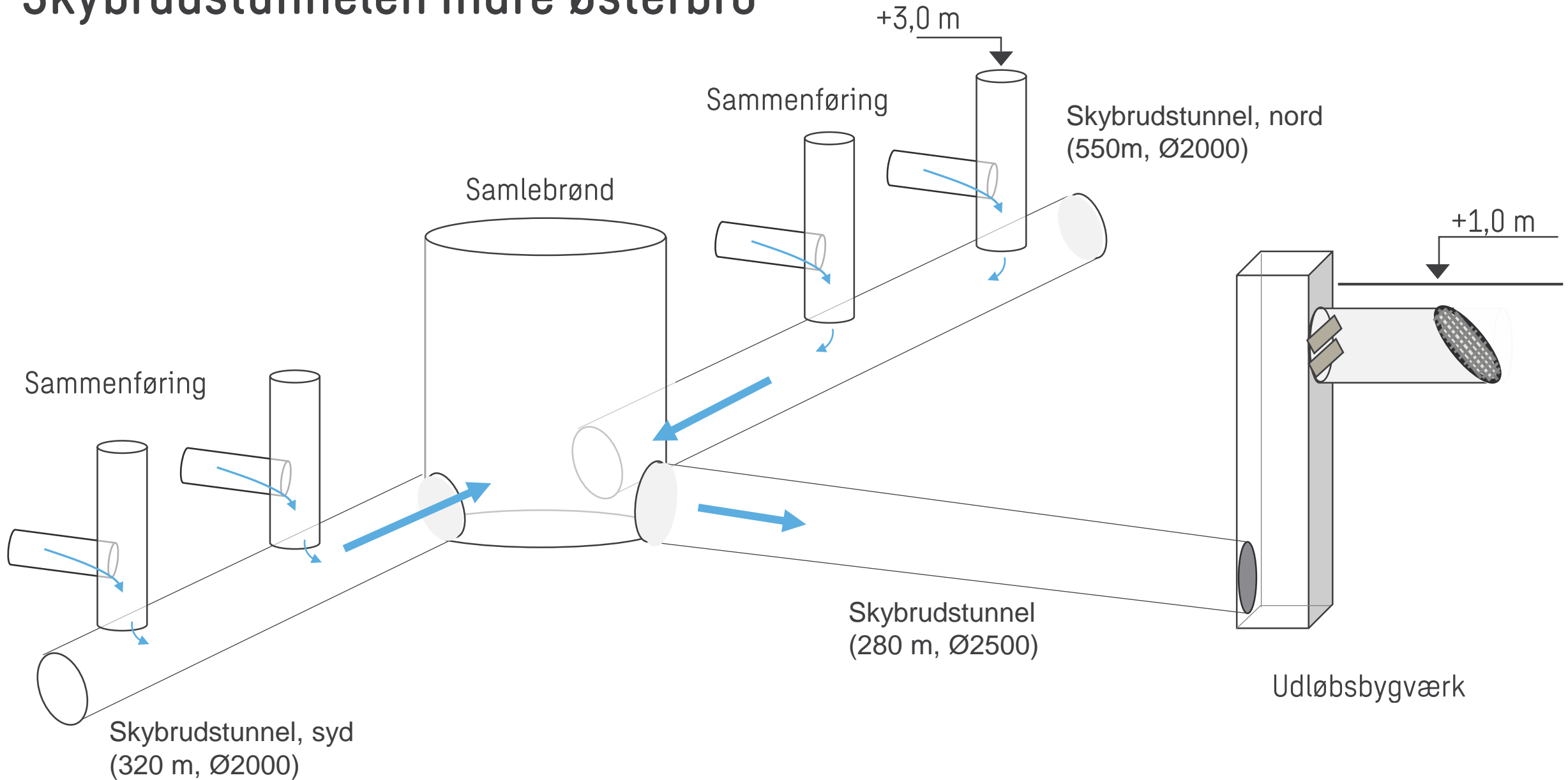
- Mindre gradient i skybrudssystemet
- Vand niveau i havn på +1,00 m

Udfordring II:

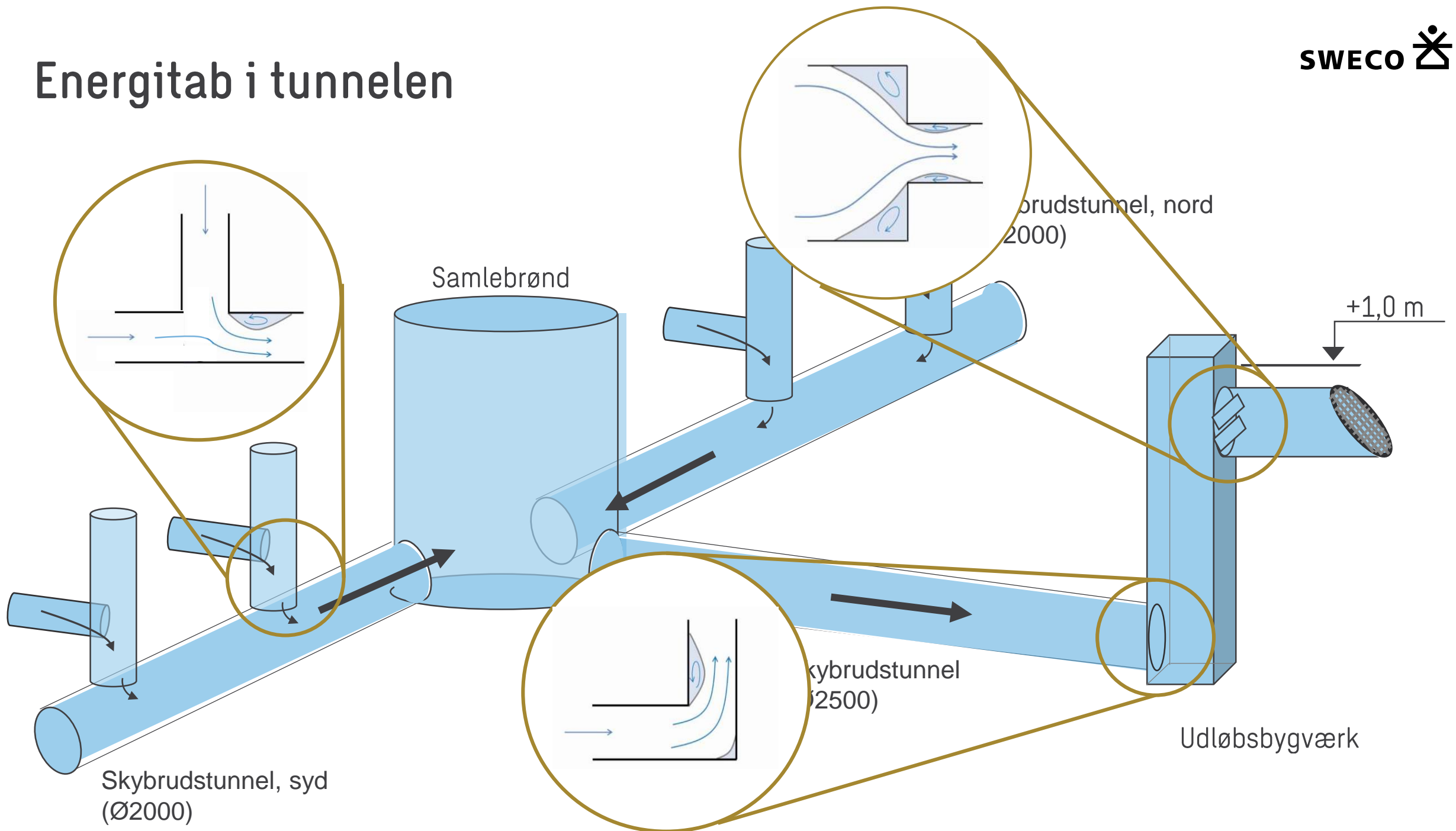
- Jernbanestrækning blokerer for overfladevand til havn



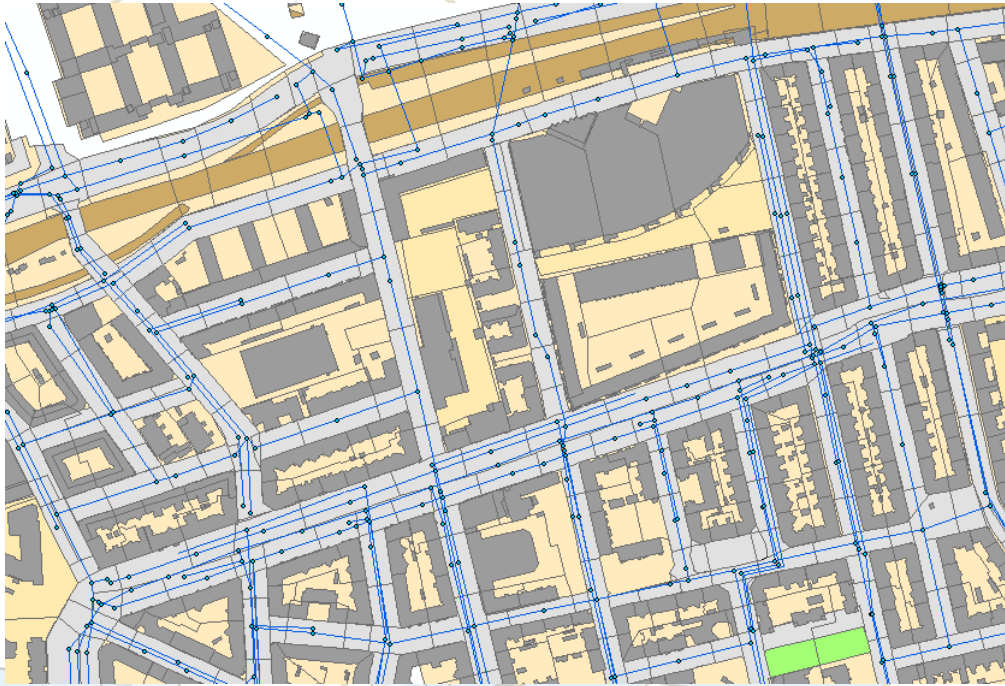
Skybrudstunnelen Indre Østerbro



Energitab i tunnelen



Energital i tunnelen



Ne... brudstunnel, nord
Endimensionelle afløbsmodeller (Mike Urban)

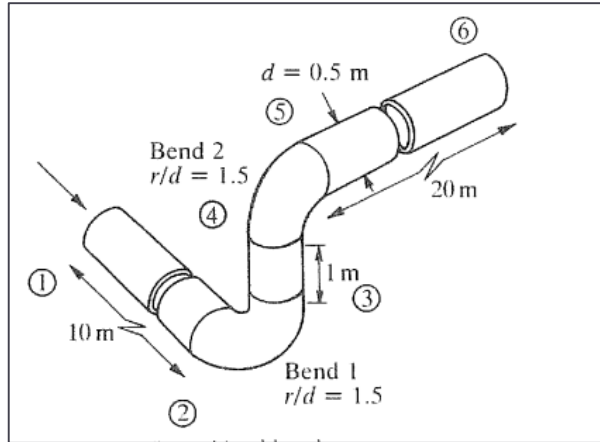
- Rimelig god estimering af hydraulik
- Kan tage hensyn til almindelige energitab
- Hvad med skybrudssystemer (komplekse hydrodynamisk)?

Tager MU tilstrækkelig hensyn til energitab?

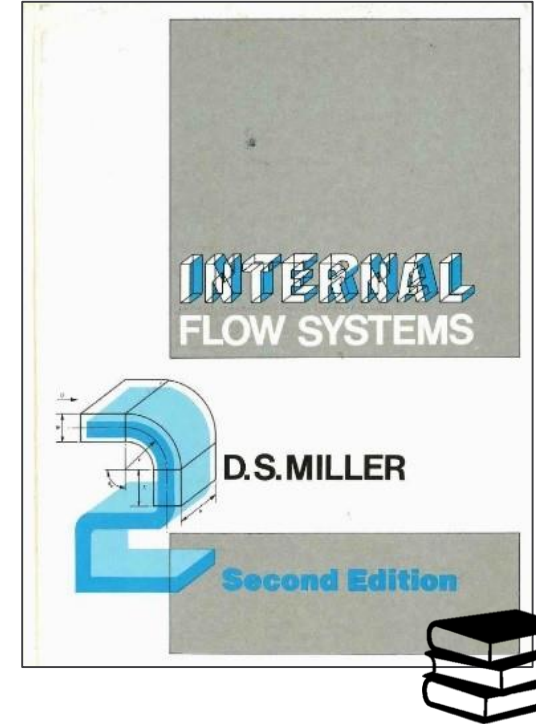
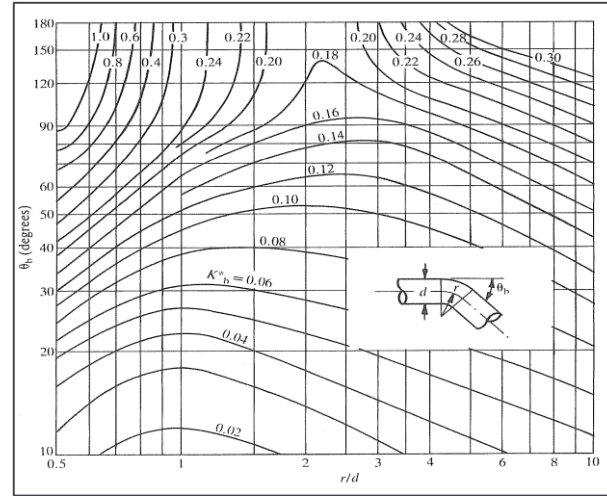


Energitab – litteratur

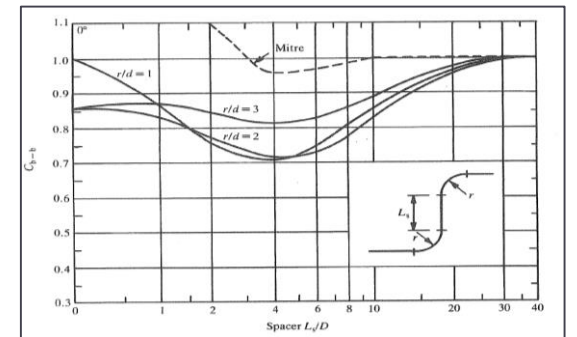
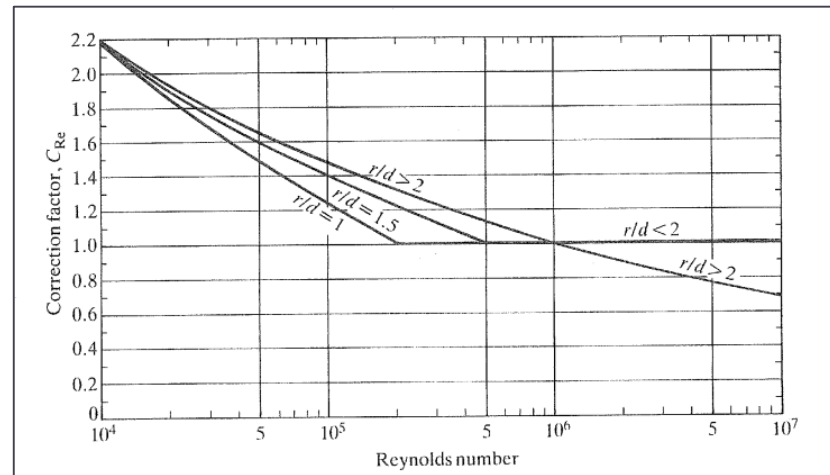
1. Definere geometri og flow parametre



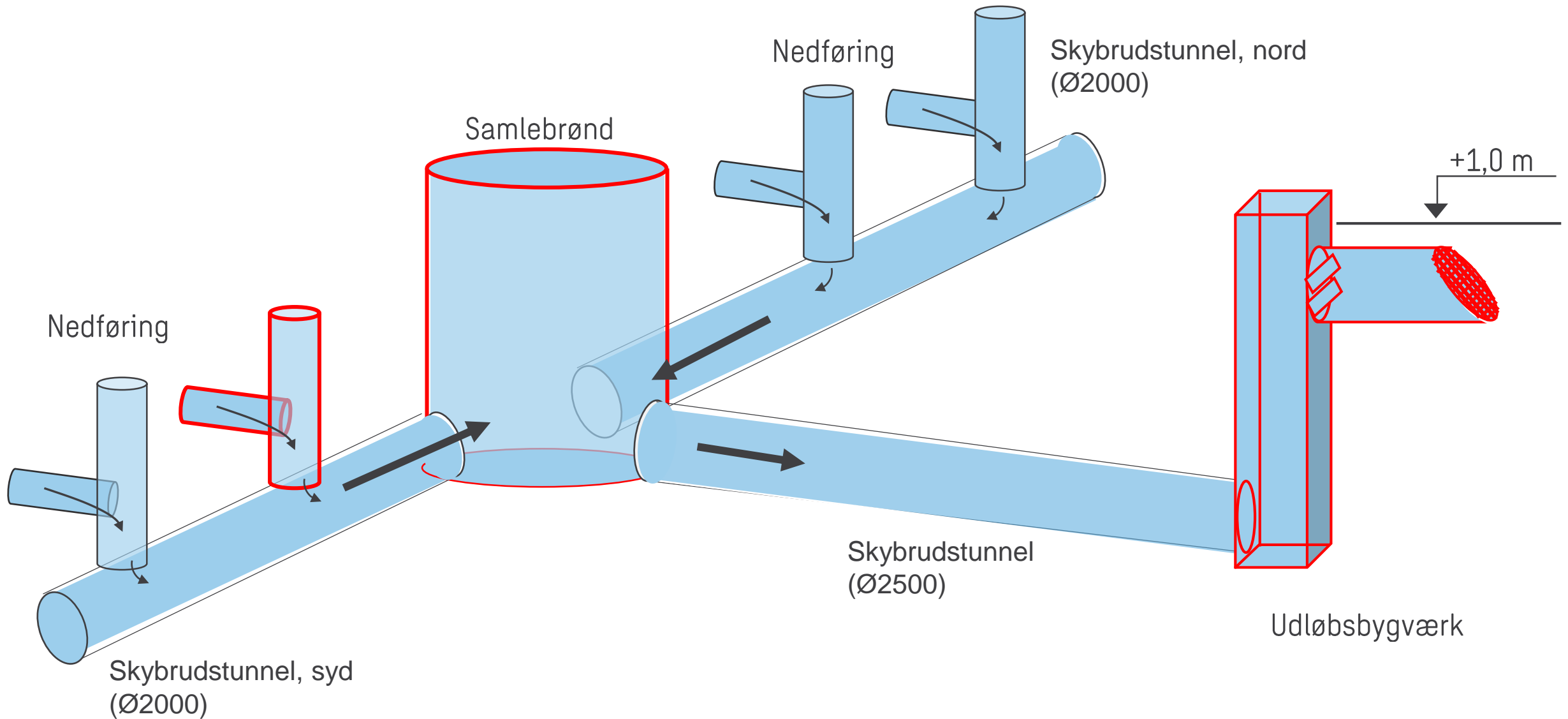
2. Vælg rigtige enkelttabskoefficient



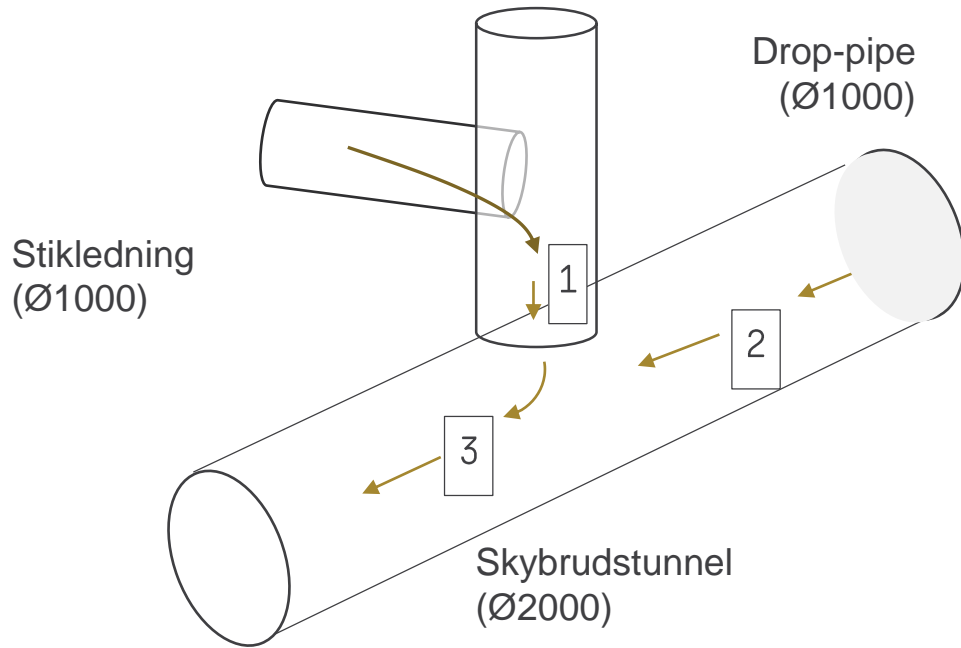
3. Korrigere enkelttabskoefficient for det rigtige Reynoldstal ($< Re = 10^6$) og interaktionen mellem enkelttaber



Energitab i tunnelen



Energitalab - sammenføring

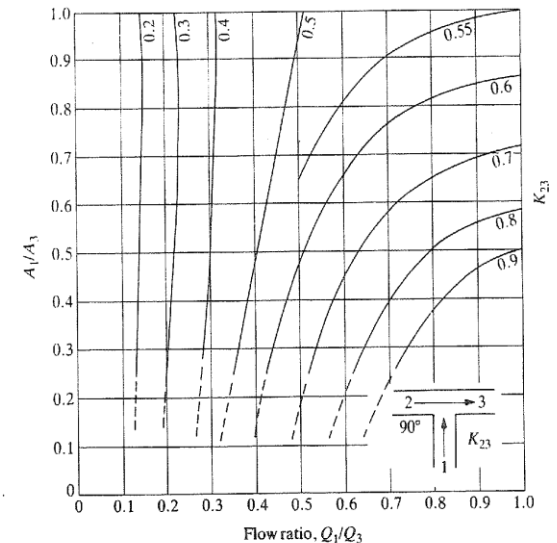
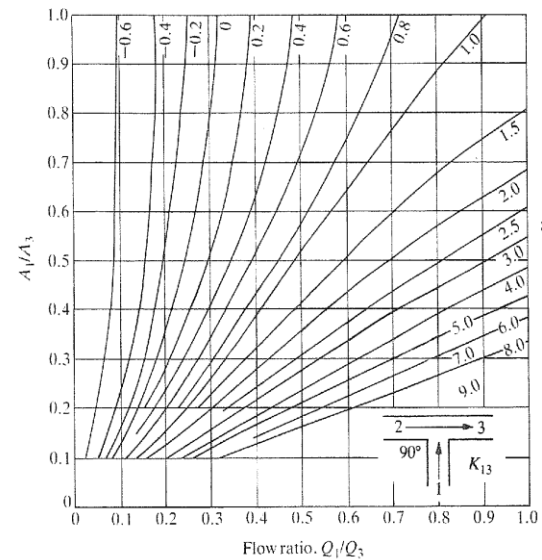


Teori

Enkelttab i indløb (90° bøjning)

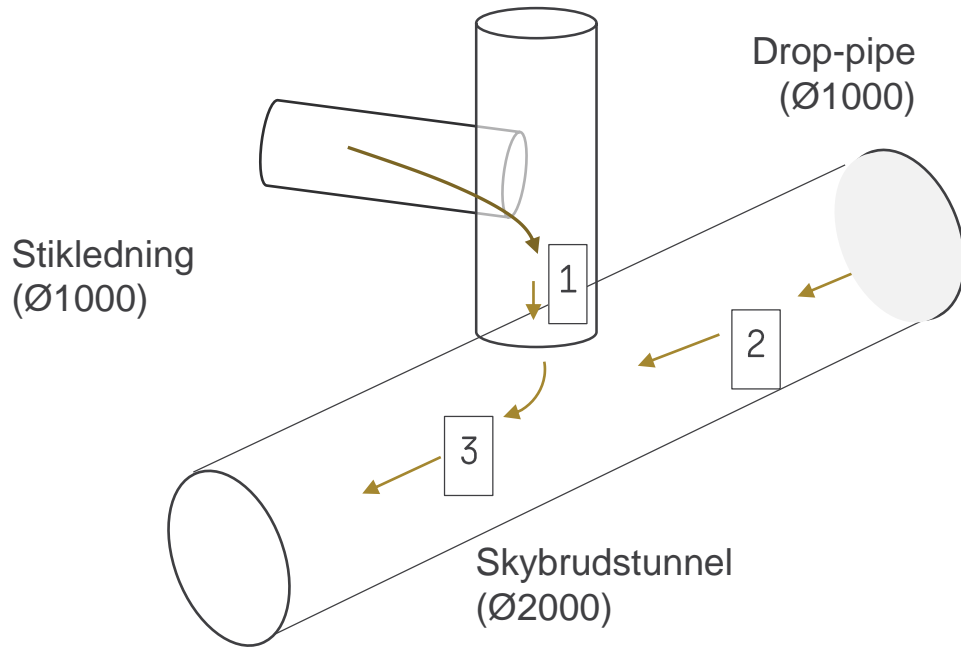
Enkelttab i sammenløb:

- beregnet baseret på **flow forhold og Areal forhold**
- **Interaktionskoefficient** (bøjning og sammenløb)
- Korrektion for $Re < 10^6$



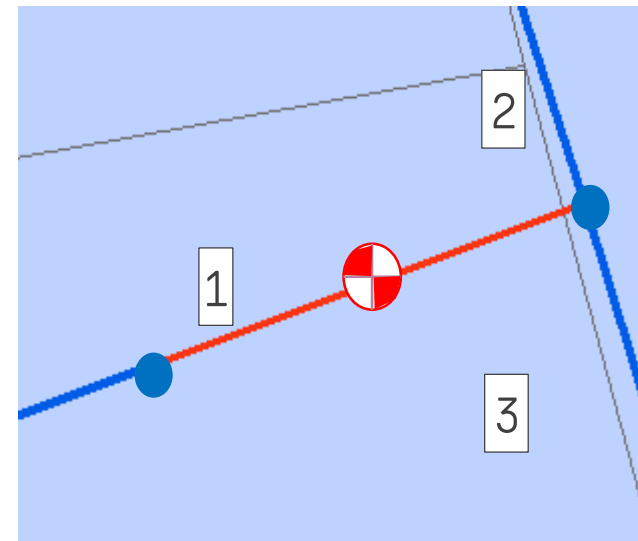
Reference: Miller, Donald S. *Internal flow systems. Second edition.*
 Cranfield: BHRA (information Services), 1990

Energitab - sammenføring

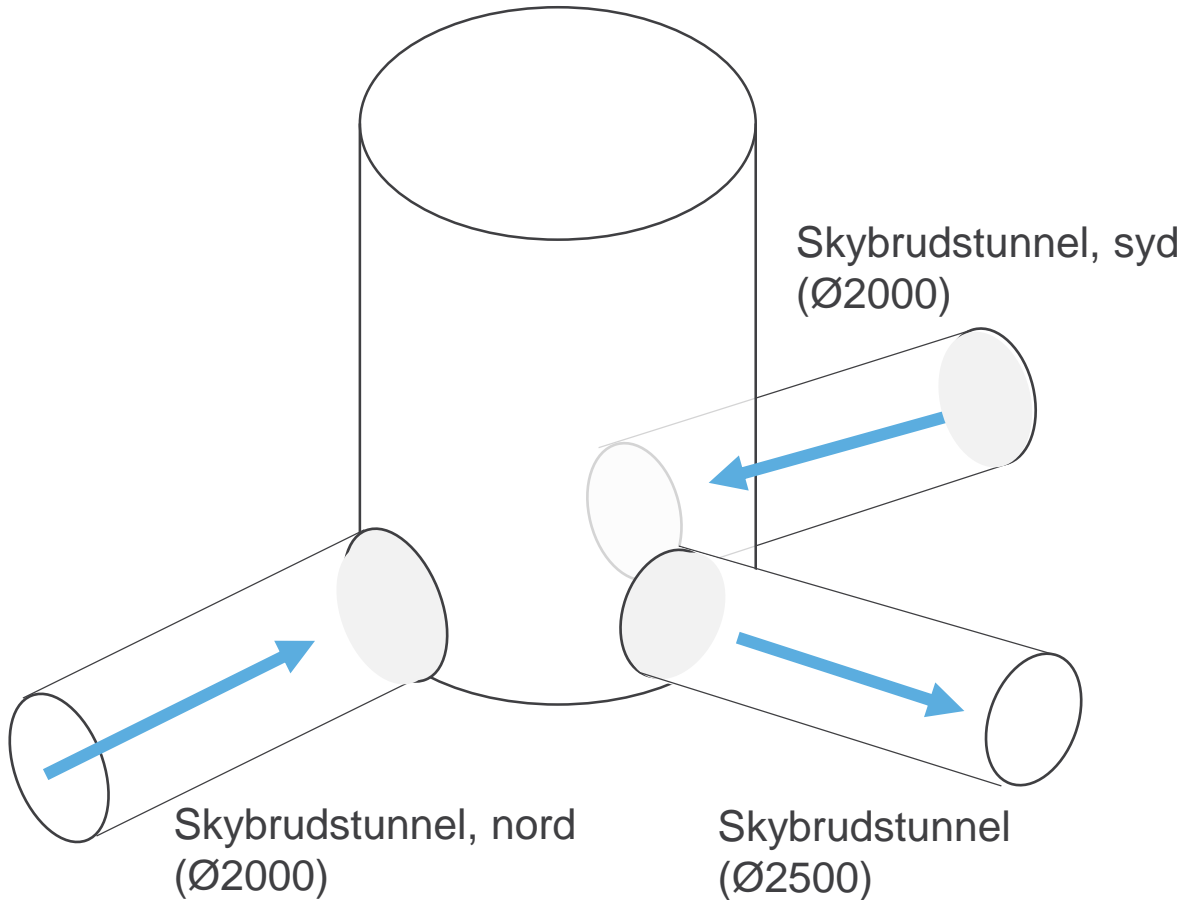


Mike Urban

- Fiktiv brønd
- Orifice → Stabilitet



Energitalab - samlebrønd



Teori

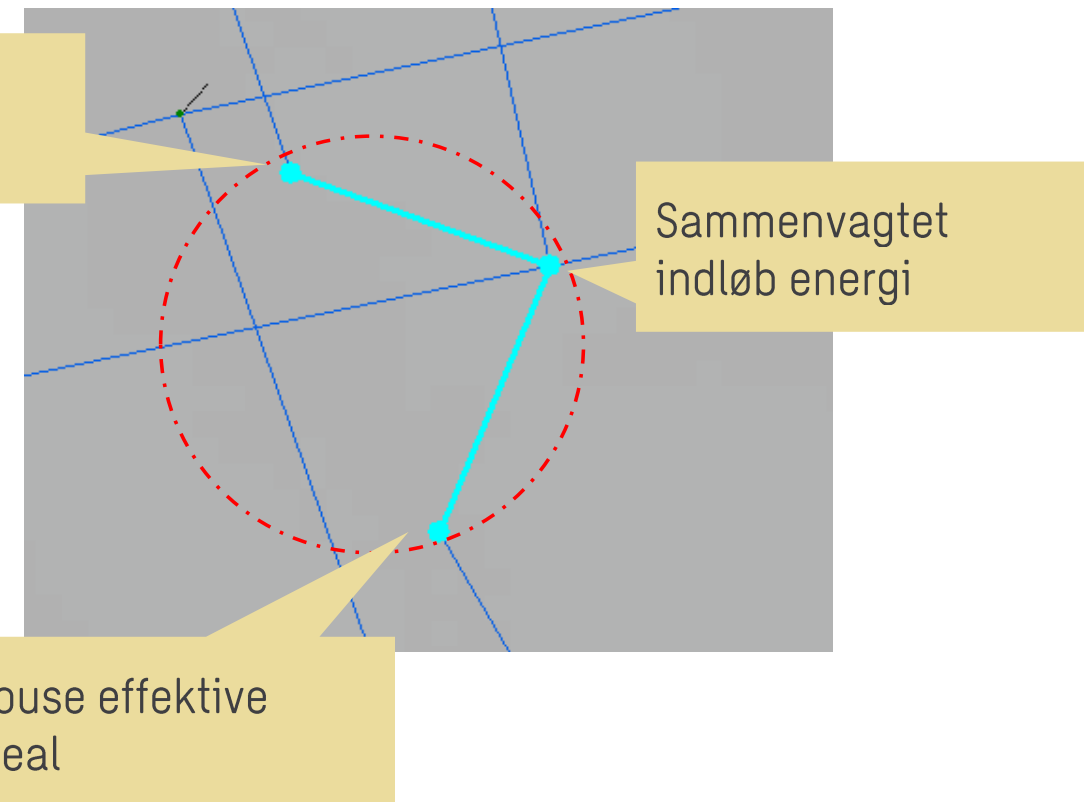
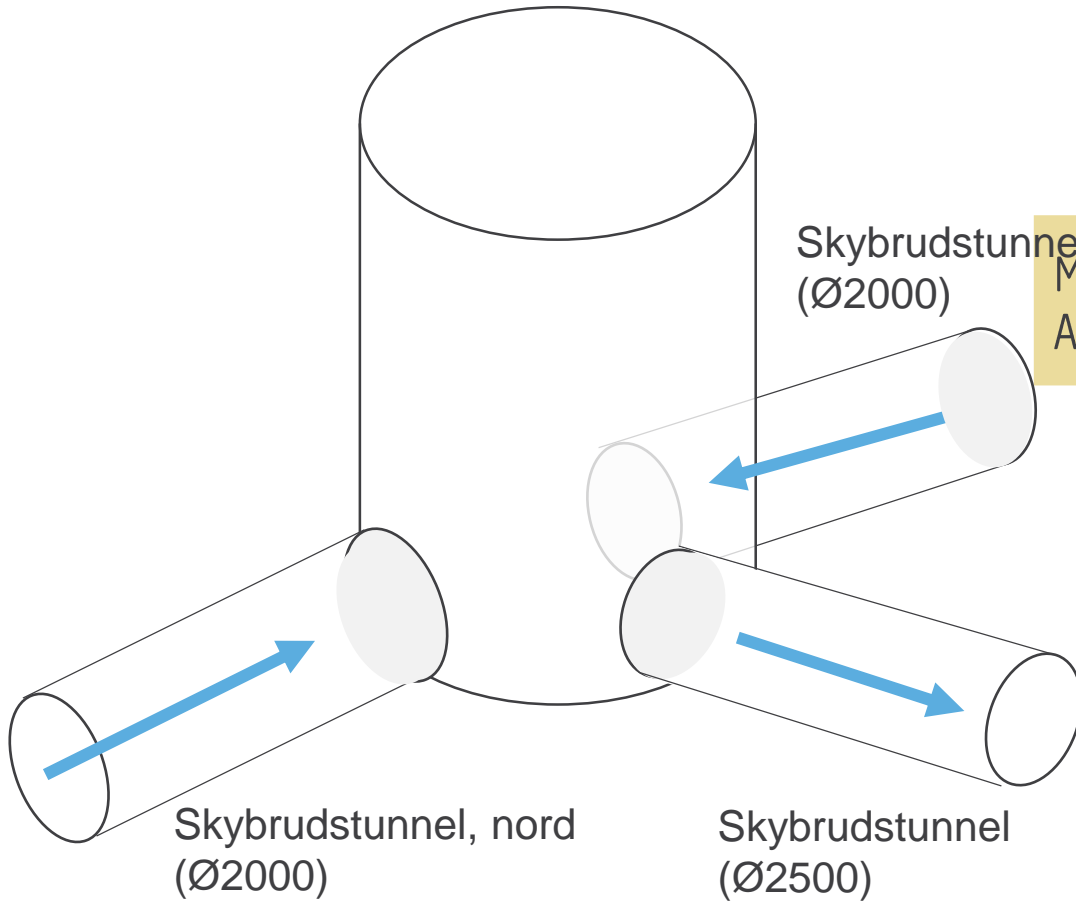
$$K = K_0 C_D C_Q C_B$$

Initialtab	$K_0 = 0,1 \left(\frac{D_m}{D_o}\right)(1 - \sin\theta) + 1,4\left(\frac{D_m}{D_o}\right)^{0,15} \sin\theta$	
	θ Vinkel mellem indløb og udløb D_m Brønddiameter D_o Udløbsdiameter	
Diameter ændring	$C_D = \left(\frac{D_o}{D_i}\right)^3$	D_i Indløbsdiameter D_o Udløbsdiameter
Relativ flow	$C_Q = (1 - 2\sin\theta) \left[1 - \left(\frac{Q_i}{Q_o}\right)\right]^{0,15} + 1$	
	Q_i Flow indløb Q_o Flow ud	
Banket	Fuld banket og dykket: $C_B = 0.75$	

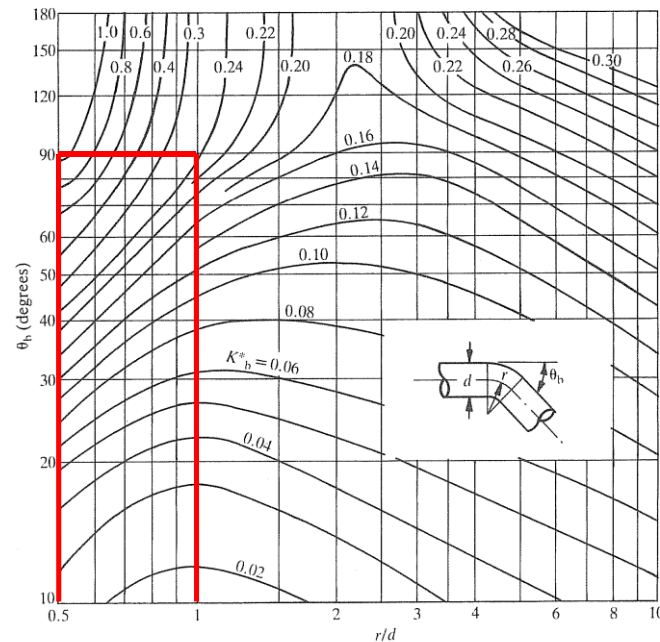
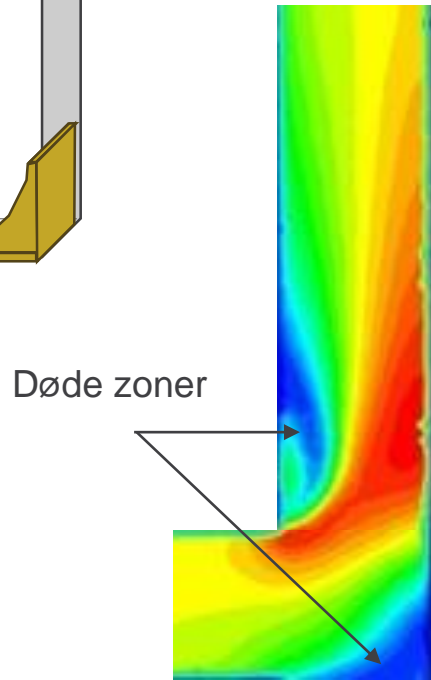
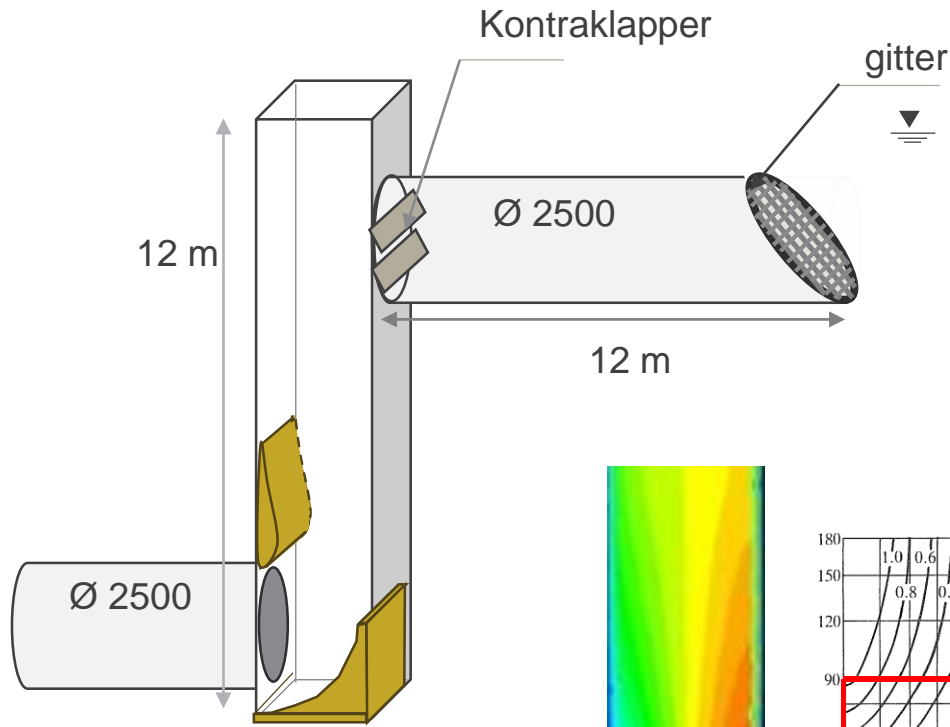
Energitab - samlebrønd

Mike Urban

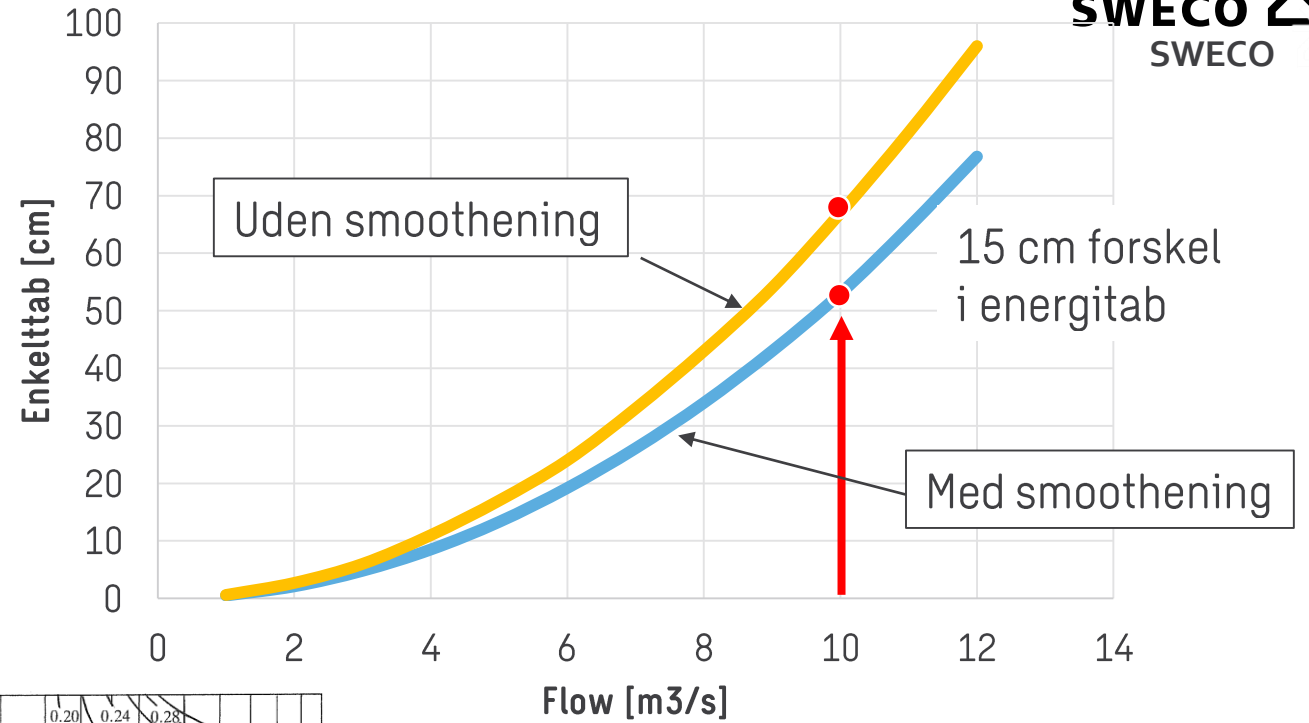
- Fiktiv brønd
- Ændring af udløbstab funktion



Energitalb - udløbsbygværk

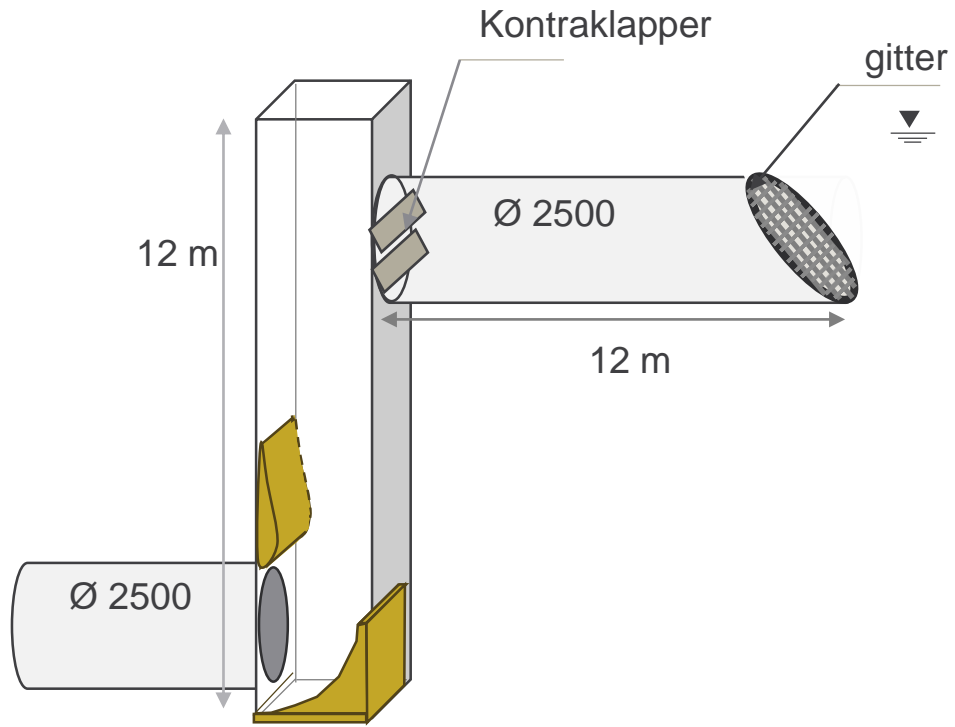


Smoothing effekt vs. Flow



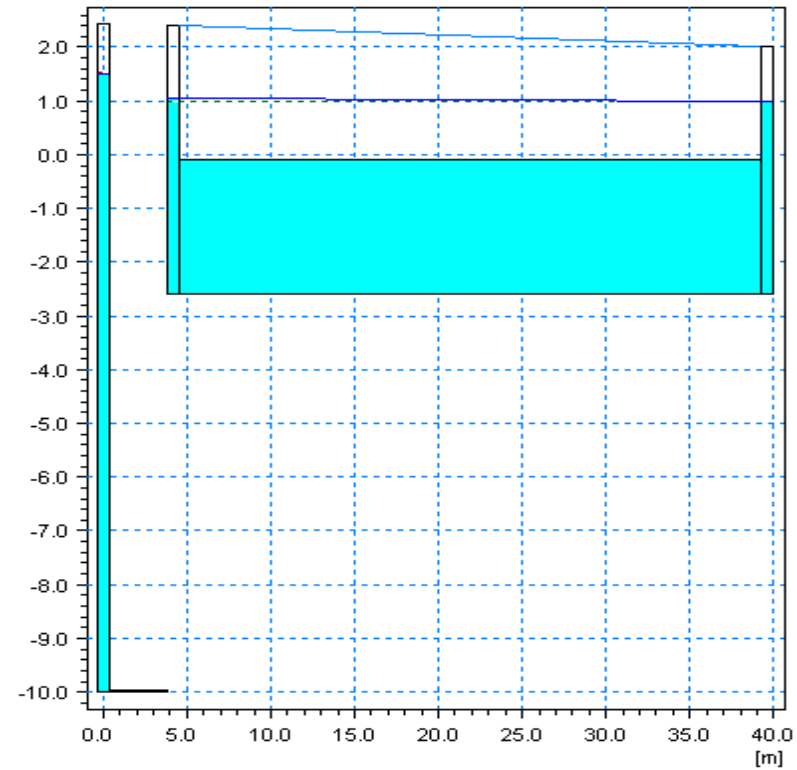
- 2 x 90 grad bøjning
- Interaktion mellem to bøjninger
- Kontraklap
- Gitter på udløb

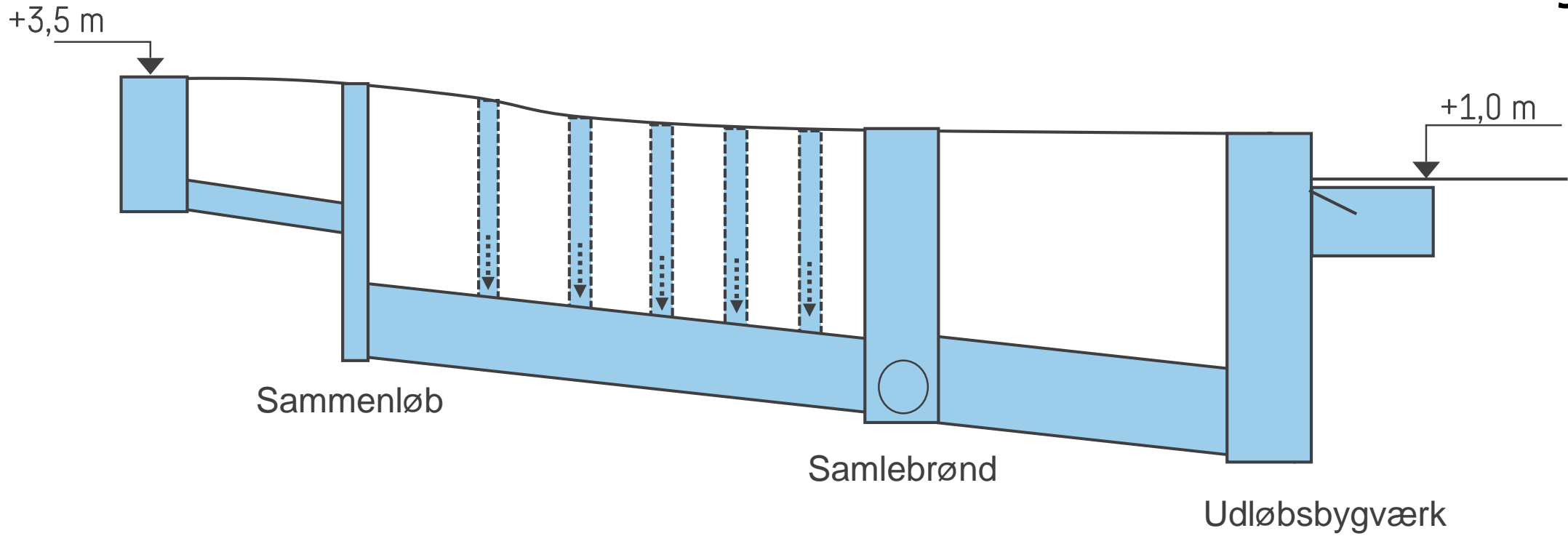
Energitab - udløbsbygværk



Mike Urban

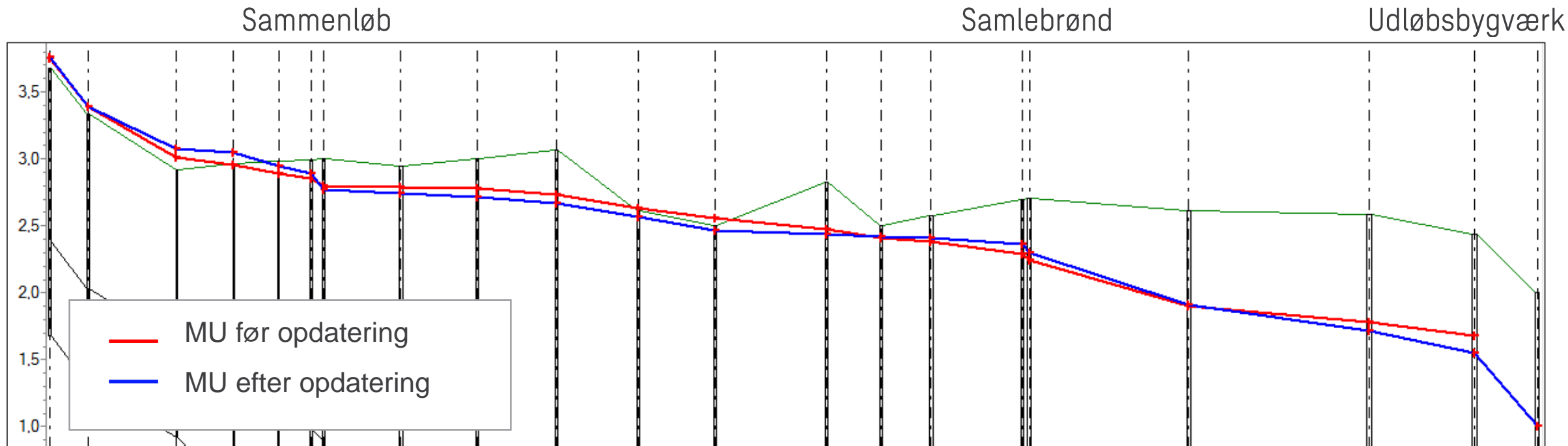
- Fiktiv brønd
- Dykket udløb
- Kontraklap (Orifice)





Enkelttab	Sammenløb*	Sammenløb	Samlebrønd	Udløbsbygværk	Friktion	I alt
	i stikledning	i tunnel				
MU før [m]	0,05	0,23	0,29	0,72	0,7	1,95 m
MU efter [m]	0,15	0,10	0,26	0,55	0,7	1,78 m

*fra Vordingborgsgade



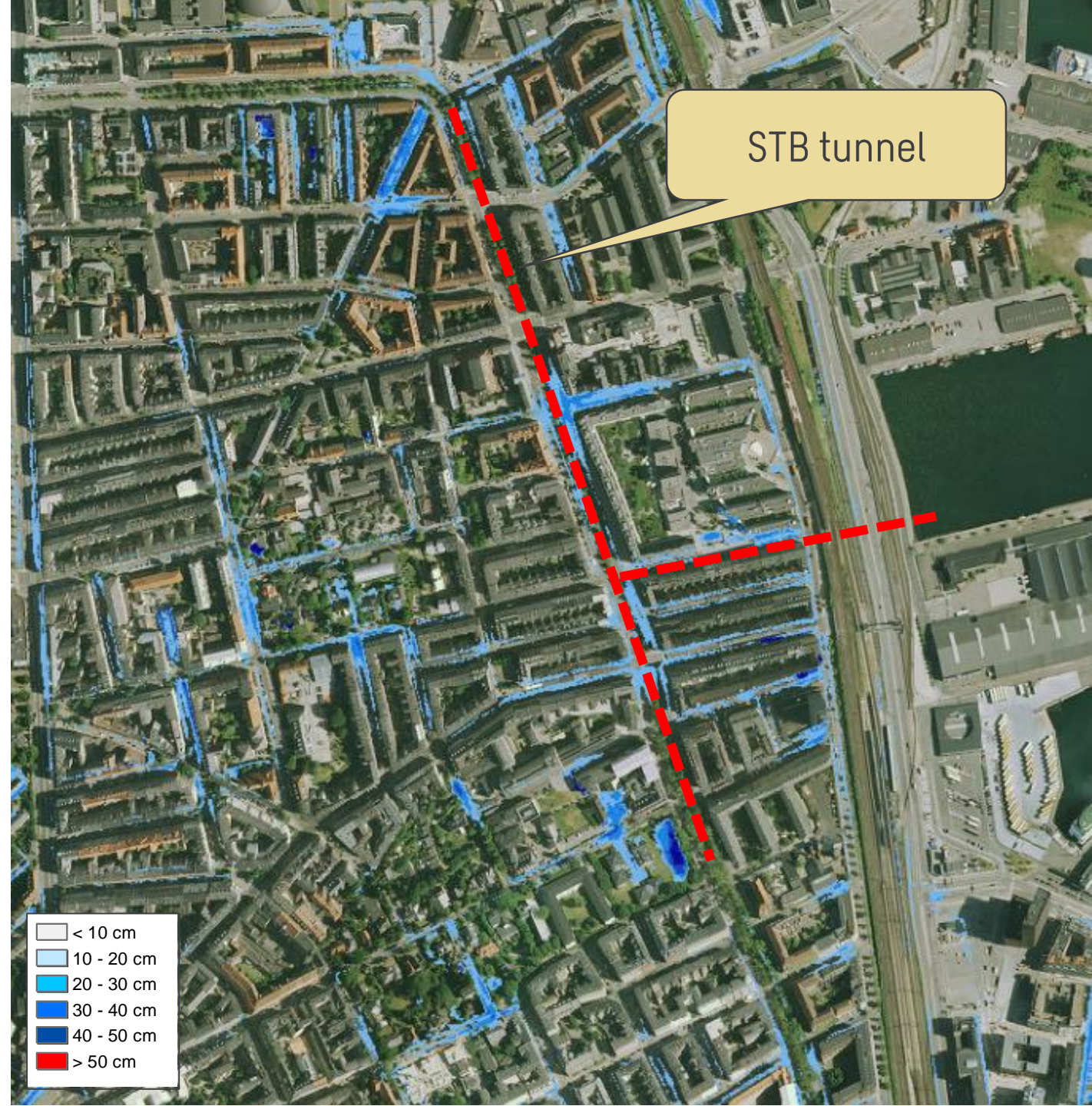
Enkelttab	Sammenløb*	Sammenløb	Samlebrønd	Udløbsbygværk	Friktion	I alt
	i stikledning	i tunnel				
MU før [m]	0,05	0,23	0,29	0,72	0,7	1,95 m
MU efter [m]	0,15	0,10	0,26	0,55	0,7	1,78 m

*fra Vordingborgsgade

100 år CDS regn i 2110

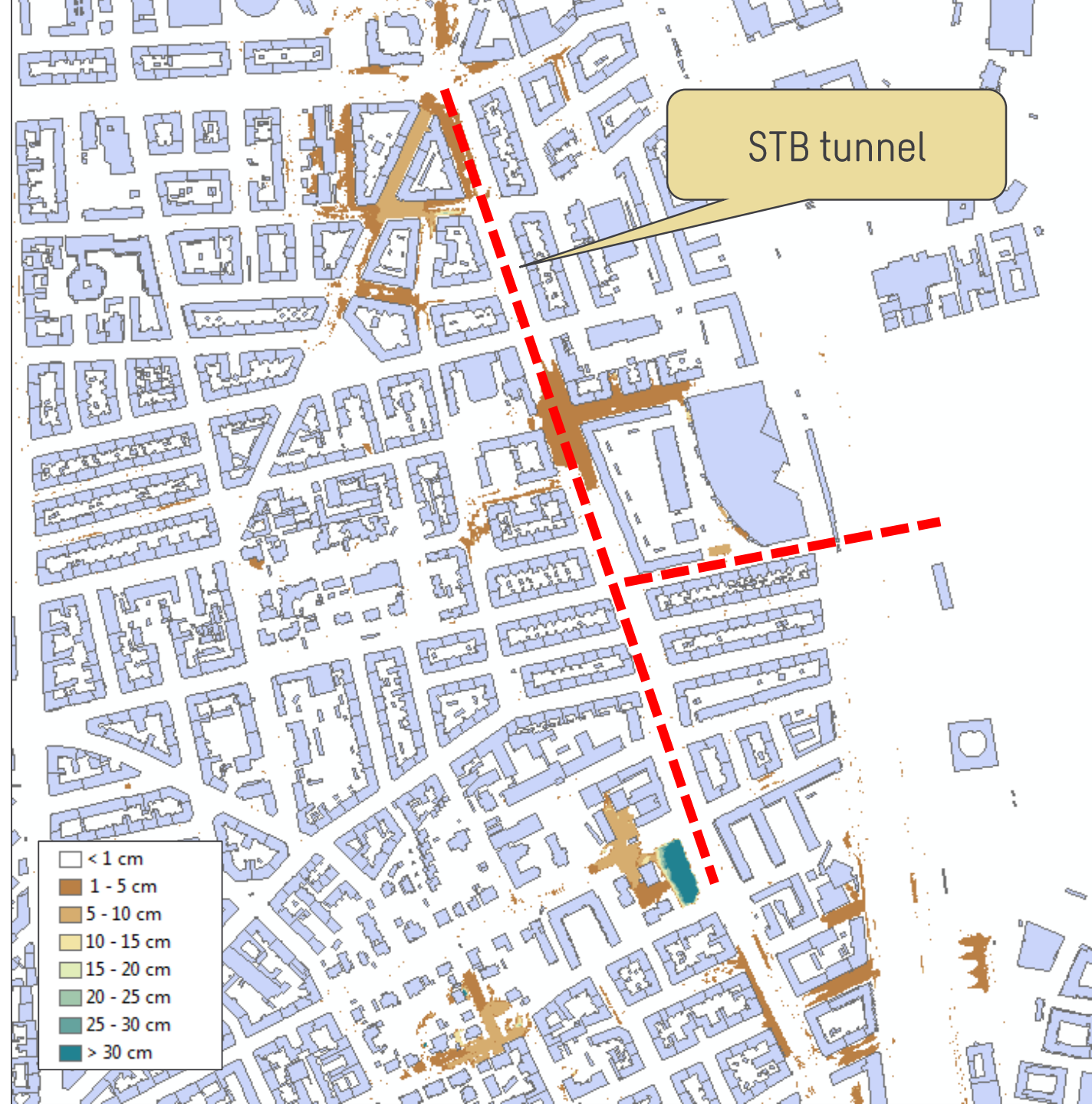
Efter opdatering ift. enkelttaber

- Lille gradient og stor energitab
- Vandstuvning på gaderne lang væk fra udløbet
- Effekt af enkelttab beregning på MU resultater?



Forskel efter MU justering ift. enkelttaber

- Mere enkelttab i tilslutning til tunnelen → mere vandstuvning i sidegaderne
- Forskel på vandstuvning mod hussokkel er op til 10 cm



Konklusion

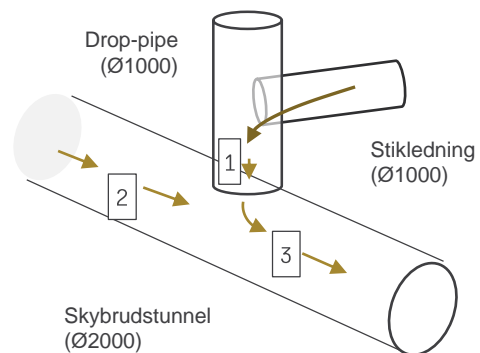
1. Energitalberegninger er vigtig for kontrol af hydrauliske bygbarhed af skybrudssystemer (mindre gradient og komplekse bygværker)
2. MIKE URBAN kan tage højde for almindelige enkelttab, men bør tjekkes med teori ved hånberegning:
 - I bygværker med komplekse hydrodynamisk forhold
 - Under ekstreme regn hændelser (stor hastighed)
3. Analyse af energitalberegninger hjælper med at finde optimale løsninger

Perspektiv

- Hånberegninger af energitalberegninger i systemet er begrænset til "steady-state" forhold (værste scenarie) – det i særlige tilfælde (store hastigheder/ændringer eller særligt kritiske forhold) kan med fordel verificeres af dynamiske beregninger – CFD

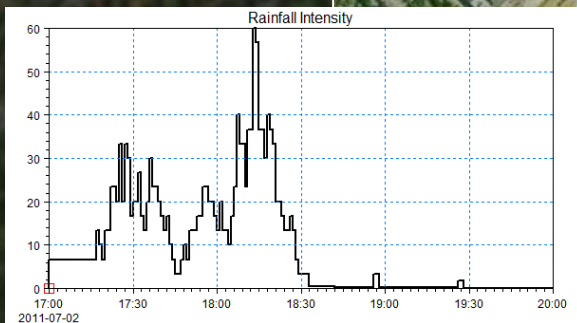
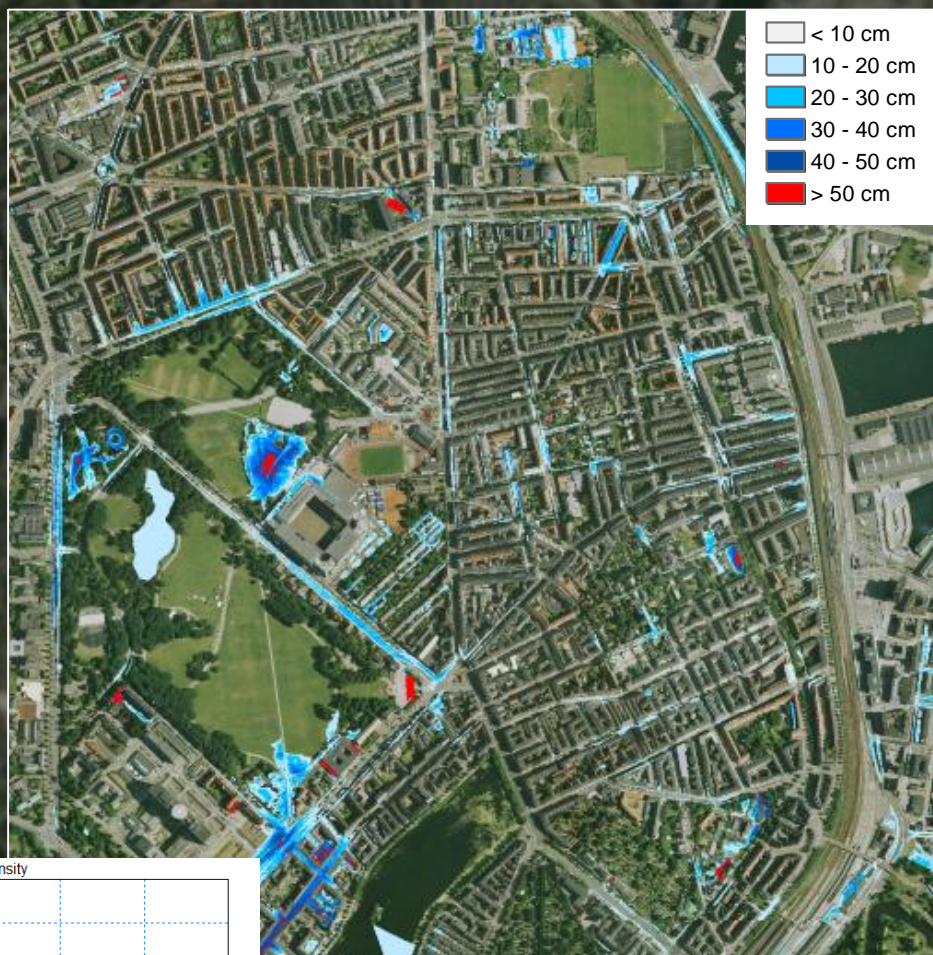
SWECO





Beskrivelse	Symbol/formel/Reference	Enhed	Værdi
Tunnel diameter	D_T		2000
Stikledningsdiameter	D_S	mm	1000
Nedgangsrør diameter [mm]	D_B	mm	1000
Flow i tunnelen	Q_T	m^3/s	2,13
Flow fra sidegade	Q_S	m^3/s	1,55
Vandhastigheden i tunnelen	V_T	m/s	0,68
Hastighedsniveau i tunnelen	$V_T^2/(2g)$	m	0,023
Vandhastigheden i stikledning	V_S	m/s	1,97
Hastighedsniveau i stikledning	$V_S^2/(2g)$	m	0,20
Reynoldstal i tunnelen	$D_T \times V_T / (1.14 \times 10^{-6})$	m	1,19E+05
Flow forhold	Q_S/Q_T	-	0,73
Areal forhold	$(D_S/D_T)^2$	-	0,25
Enkelttaber			
Enkelttab i indløb (90° bøjning)	$1 \times V_S^2/(2g)$	m	0,20
Sammenføringskoefficient til tunnelen	K_{13}	-	7,00
Interaktionskoefficient, K_{BT}	Miller (1978), Afsnit 13.11.4	-	-0,70
Korrigeret Interaktionskoefficient	Miller (1978), Afsnit 13.11.5	-	-0,35
Totale sammenføringskoefficient	$K_{13} + K_{BT}$	-	6,65
Korrektion for $Re < 10e6$	Miller (1978), Afsnit 13.1.1.	-	6,67
Enkelttab i sammenføring	$K_{13}^* \times V_T^2/(2g)$	m	0,16
Total energitab i tilslutning til tunnelen		m	0,36

Skybruddet d. 2. juli 2011 efter skybrudstunnel etablering

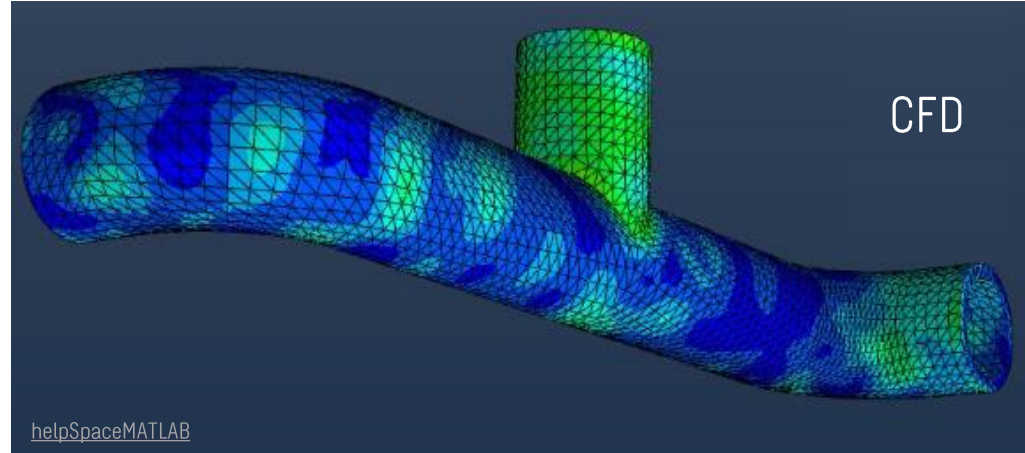


Energitab – metoder til fastlæggelse

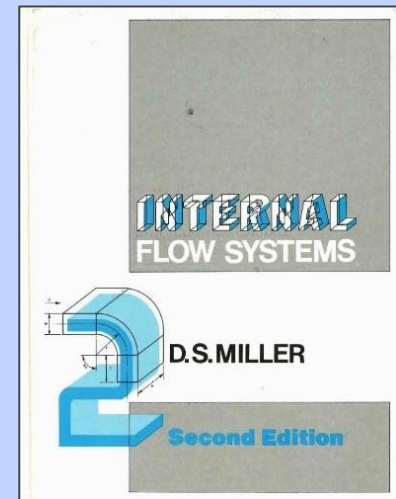
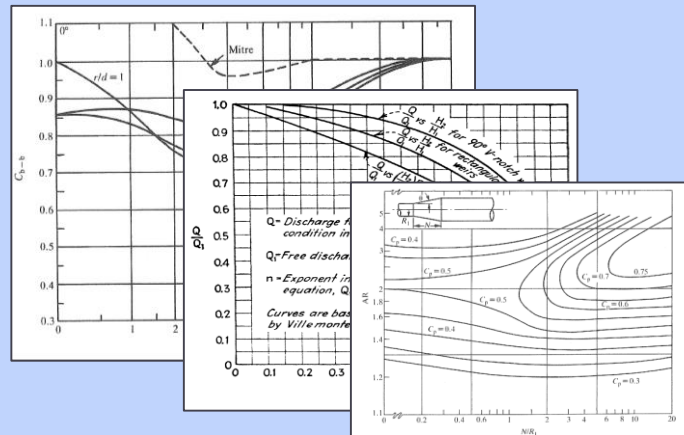
Fysiske modeller



http://en.hidroinstitut.si/category/physical_models/



Litteraturen

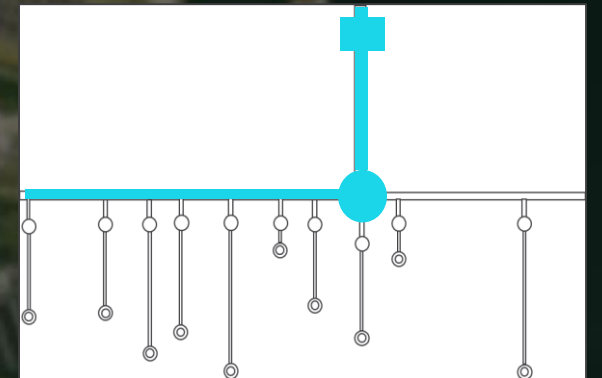


Miller, 1990

Skybrudstunnelen Indre Østerbro

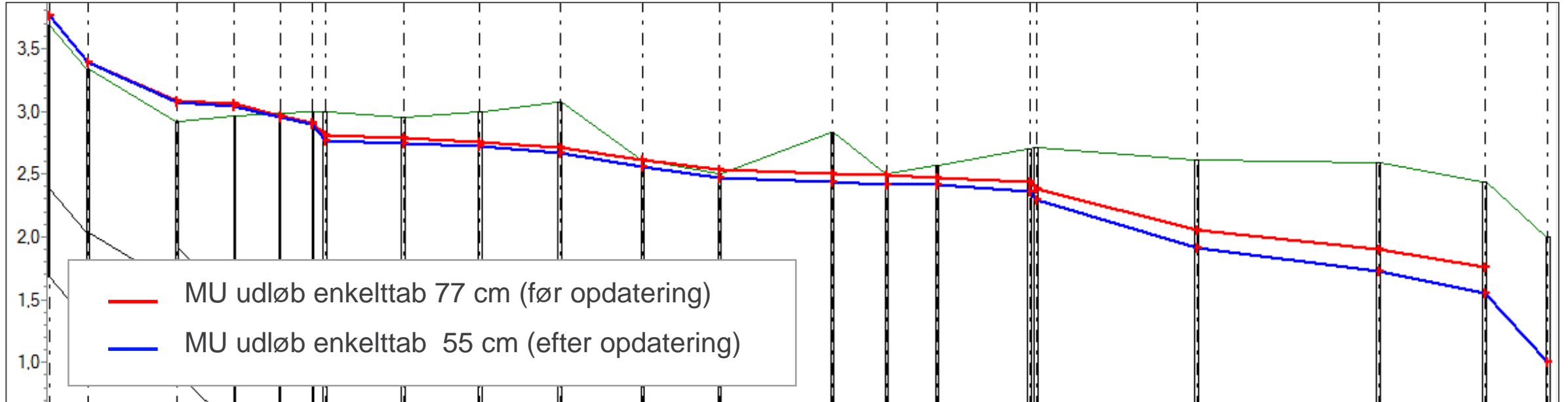


- 1,1 km lang
- Ø2000 mm tunneller samles i en Ø2500 mm
- Modtager vand fra regnvandssystem igennem overløbsbrønde
- Leder vand til havnen under banen og igennem udløbsbygværk



Forskel efter justering af udløbsbygværk

Udløbsbygværk



Nedstrøms korrektion af enkelttab har mindre effekt på opstrøms