

HYDRAULISK BEDÖMNING AV DEN NATURLIGA DÄMPNINGEN I ÄLVSTRÄCKOR

Anders Andersson

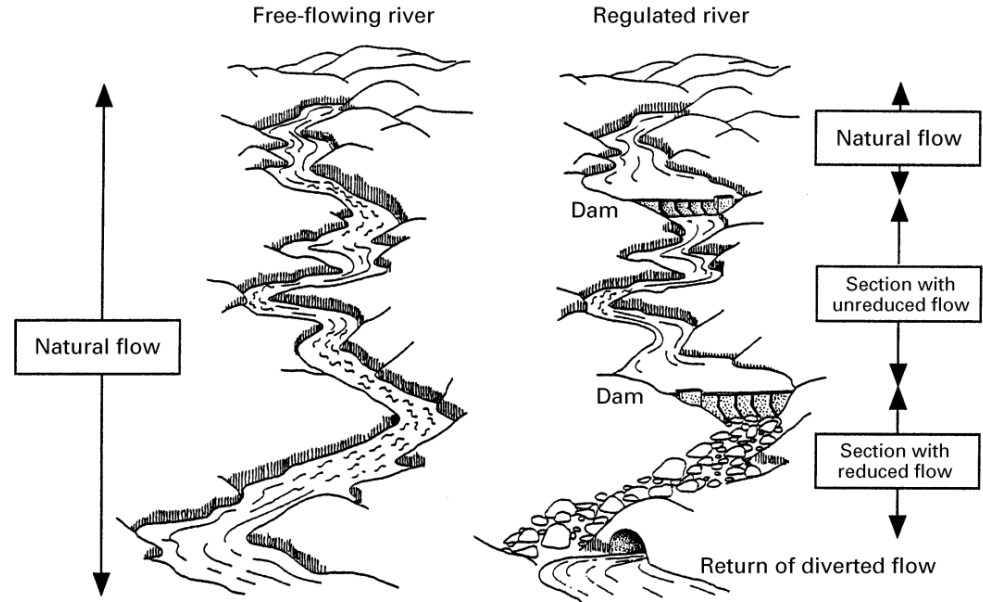
Biträdande professor

Strömninglära och experimentell mekanik

Luleå tekniska universitet

Bakgrund

- Reglerade älvar har mer varierade hydrauliska förutsättningar i och med uppdamningar, kraftverk, mm.
- Mer frekventa variationer i flöden när vattenkraften i större grad används för att reglera sol- och vindkraft
- Förståelsen för ett vattendrags hydrauliska funktion viktig för att uppnå god ekologisk status



Zhang et al 1998

Relevans

- Hydrauliska förutsättningar som vattendjup och flödeshastigheter viktiga för fiskars lekområden, fiskvandring, bottenfauna mm.
- Snabba och stora förändringar i flöden och vattendjup kan ge stor miljöpåverkan
- Ekohydraulik

Reduction in water level		Spawning habitat		
		Small	Moderate	Large
	<30 cm	Moderate bottleneck	Weak bottleneck	No bottleneck
	30-50 cm	Severe bottleneck	Moderate bottleneck	Weak bottleneck
	>50 cm	Severe bottleneck	Severe bottleneck	Moderate bottleneck

Forseth, T. & Harby, A. 2014

Hydraulic conditions for potential spawning habitat and ecological stranding status.

		European grayling	Brown trout		Atlantic salmon
Potential spawning habitat					
Optimal depth	Range [m]	0.30–0.50 ^a	0.20–0.30 ^b		0.25–0.55 ^b
Optimal velocity	Range [m/s]	0.23–0.90 ^a	0.20–0.50 ^b		0.15–0.60 ^b
Ecological stranding status ^c					
	Dewatering rate [cm/s]	Fry	Juveniles	Fry	Juveniles
Very good		<0.2	<1.0	<0.2	<1.5
Good		0.2–0.3	1.0–1.2	0.2–0.3	1.3–1.5
Moderate		0.3–0.4	1.2–2.0	0.3–0.4	3.0–4.5
Unsatisfactory		0.4–0.5	2.0–3.0	0.4–0.5	4.5–6.0
Bad		>0.5	>3.0	>0.5	>6.0

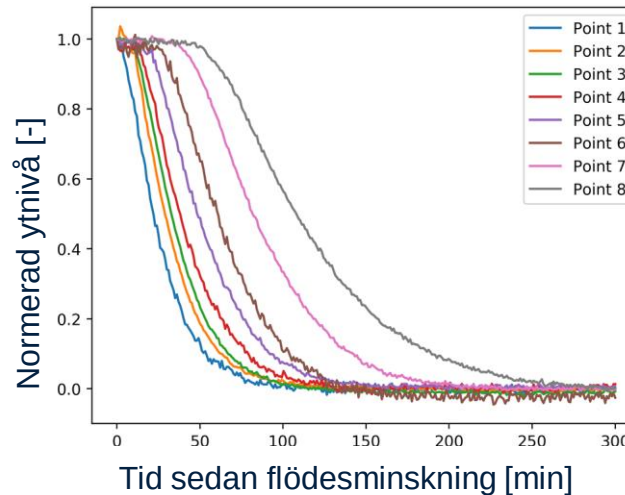
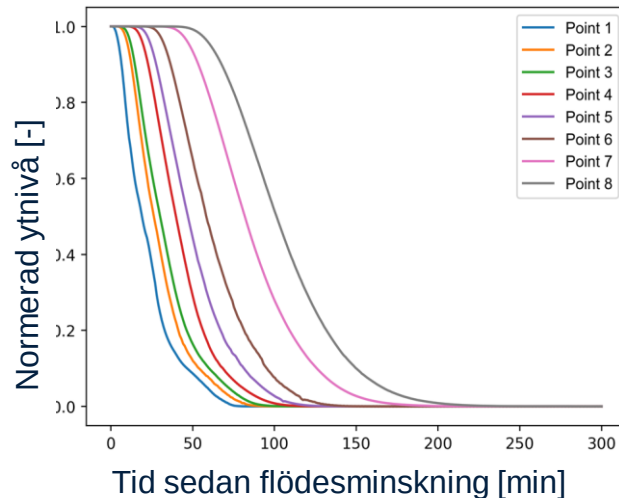
^a (Gönczi, 1989).

^b (Louhi et al., 2008).

^c (Moreira et al., 2019).

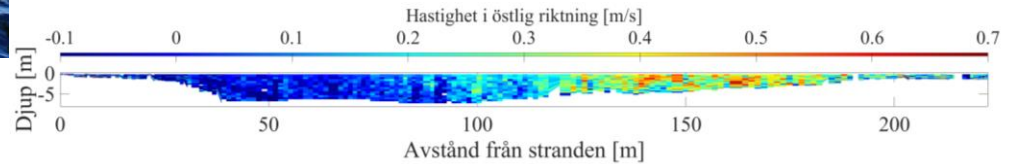
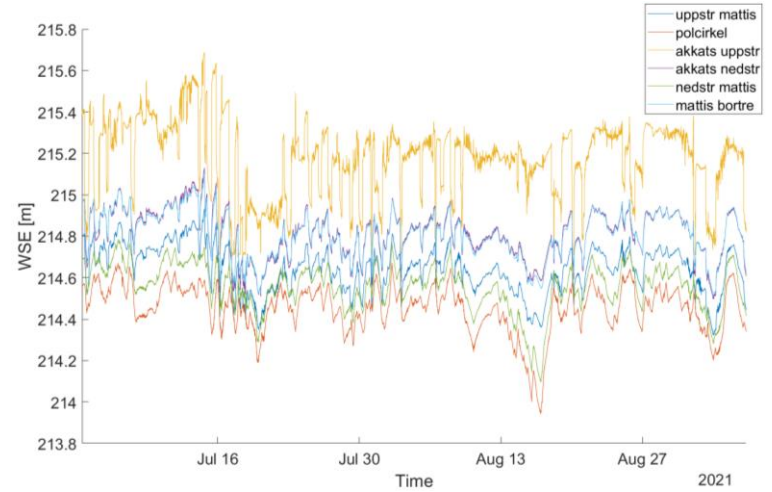
Dämpning

- Förändringen i vattennivå och hastighet från en plötslig flödesändring i en älv dämpas ut med ökat nedströms avstånd från förändringen.
- Omfattningen av denna dämpning beror av t.ex. älvens djup, bredd, tvärsnitt, bottenstruktur, initielt flödestillstånd, m.m.

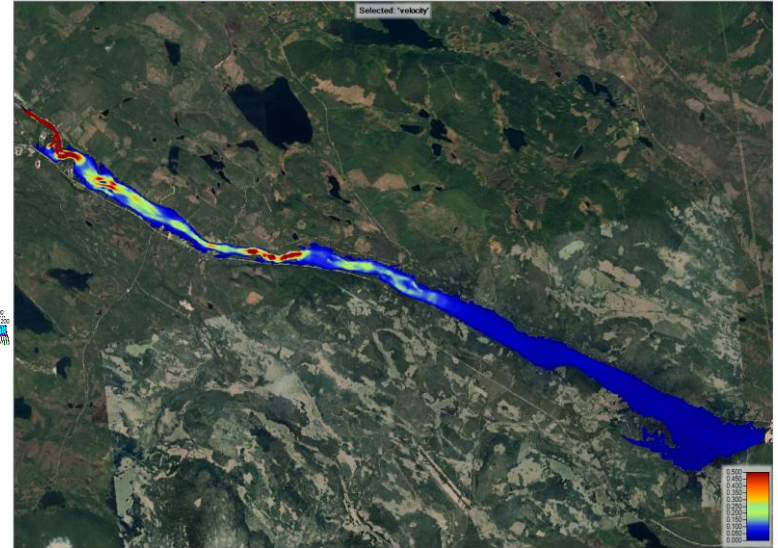
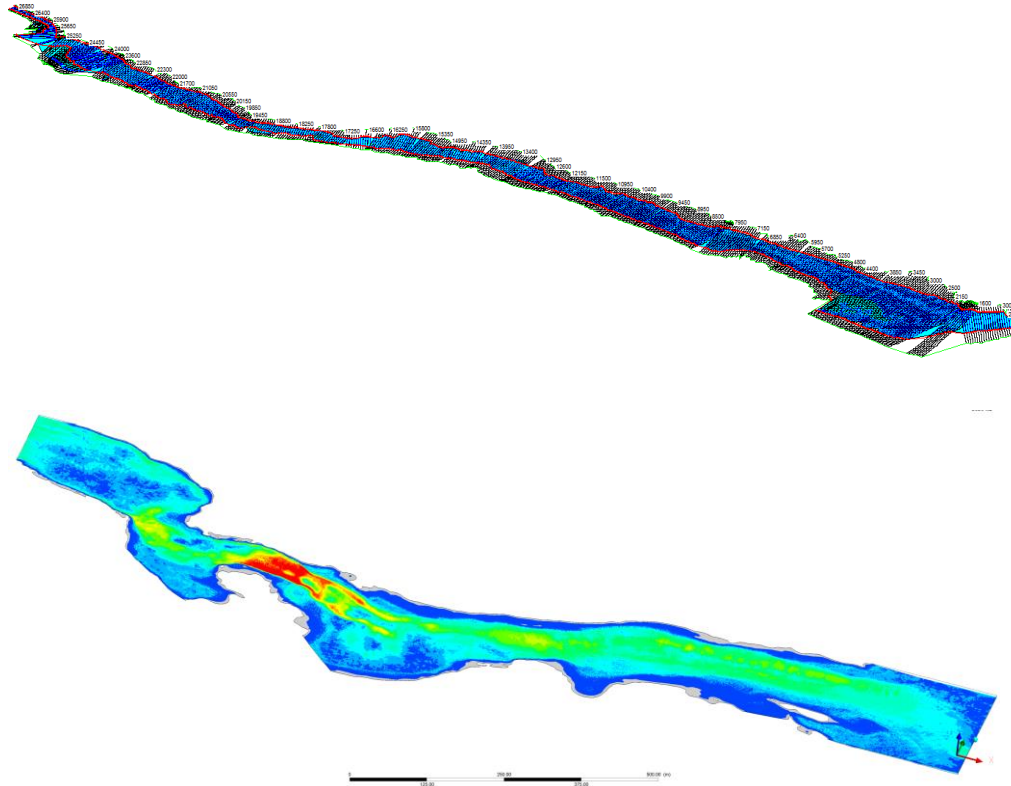


Simulerade och uppmätta
ytnivåer i Stornorrforss
torrfåra, Burman et al, IAHR
World Congress 2019.
Mätdata Kristian Angele, VRD

Fältmätningar



Digitala tvillingar



Hydrauliska modeller
1D / 2D / 3D

Projektbeskrivning

- Går det att ta fram enkla och generella verktyg som relaterar flödesändringar till inverkan på flöde, djup och hastighet längs angränsande vattendrag?
- Genom att kvantifiera denna dynamik fås en beskrivning av vattendragets egendämpning från förändringar i stationsflöden
- Ett sådant verktyg gör det möjligt att relativt snabbt värdera och jämföra känslighet/tålighet mot korttidsreglering

Teori

Navier-Stokes ekvationer

– Saint-Venants ekvationer (Shallow Water Equations)

HEC, MIKE,
Delft3D etc.

Analytiska
metoder



- Dynamic wave
- Diffusive wave (försummar acceleration och tröghetseffekter)
- Kinematic wave (försummar även lokala variationer i ytnivåer)

$$\frac{1}{g} \left(\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_0 = 0$$

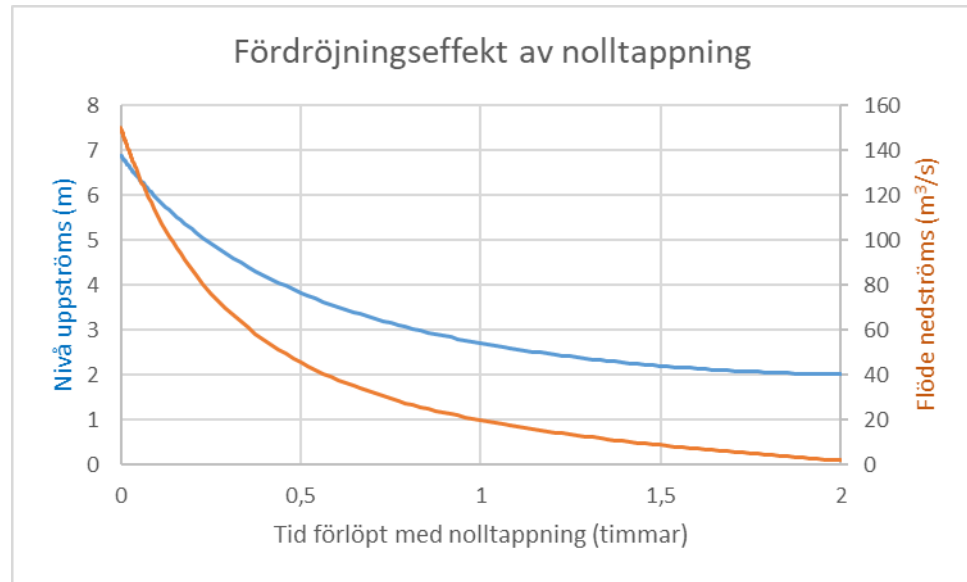
S_f – "friction slope", S_0 – "bed slope", U – hastighet, h - djup

Modell för plötslig nolltappning

Baserad på Mannings ekvation

$$Q = -\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{1}{2}BL\frac{\partial h_1}{\partial t}$$
$$= -\left(\frac{1}{2}\right)^{5/3} n^{-1}B(h_1 + h_2)^{5/3}S^{1/2}$$

- Konstant flöde mellan två kraftverk. Plötslig flödesändring ner till nollflöde
- Med givet initialt flöde, konstant nivå i nedre kraftverket h_2 under vissa antaganden kan nivå uppströms och flöde nedströms lösas ut



Modell för plötslig flödesökning

- Analytisk lösning till diffusive wave (Chanson 2004) ger flödet Q
 - Konstant vågutbredningshastighet, konstant diffusionskoeff.
 - Bred rektangulär kanal

$$Q(x, t) = Q_0 + \frac{\delta Q}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x - Ut}{\sqrt{4D_t t}} \right) + \exp \left(\frac{Ux}{D_t} \right) \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x + Ut}{\sqrt{4D_t t}} \right) \right) \right)$$

Q_0 – Initieellt flöde, δQ - flödesökning

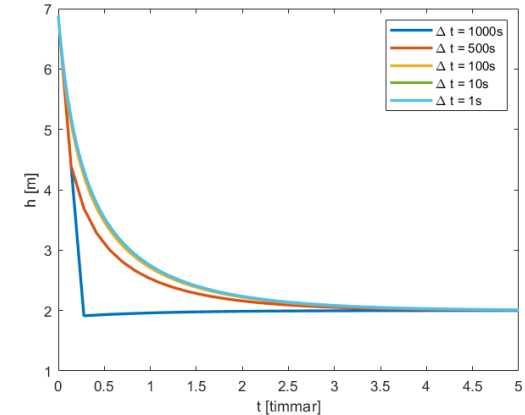
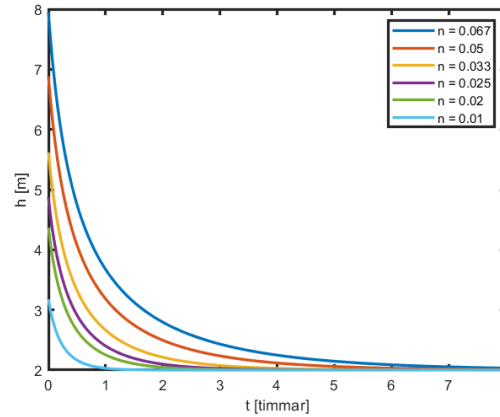
U – våghastighet, D_t – diffusionskoefficient

- Kontinuitetsekvationen ger sedan vattendjupet h

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Utvecklad modell nolltappning

- Flera flödesfall ✓
- Flera val för geometri
 - Tvärsnittsform ✗
 - Lutning ✓
 - Bottenråhet ✓



Modell för nolltappning

Dämpning för flöde mellan två kraftverk med konstant nivå nedströms och plötslig nolltappning uppströms

Initiellt flöde [m^3/s]:

Kanalbredd [m]:

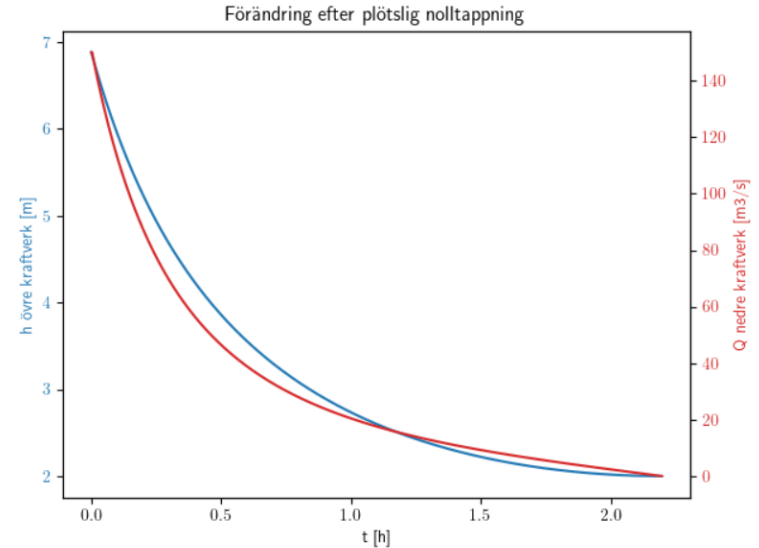
Längd [m]:

Mannings tal n:

Nedströms vattennivå [m]:

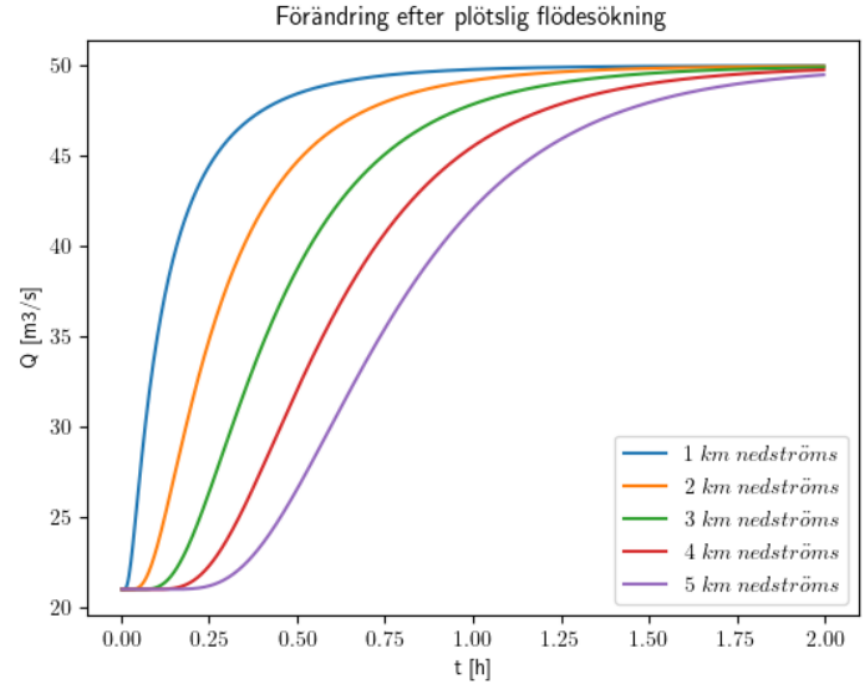
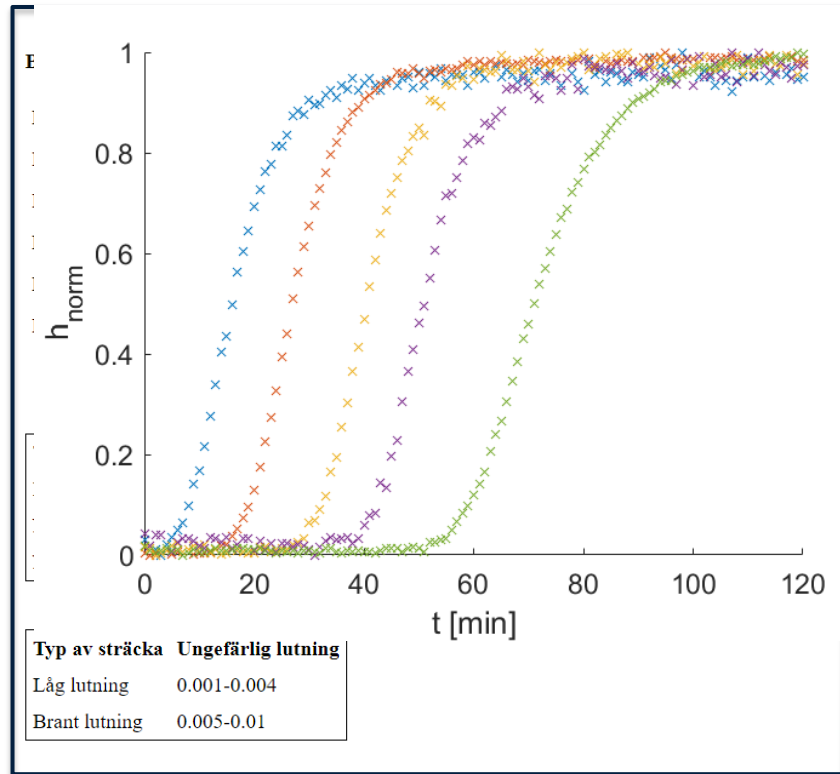
Beräkna

Typ av botten	Mannings tal n
Betong	0.011-0.015
Naturlig botten (jämn)	0.02-0.035
Naturlig botten (ojämn)	0.04-0.06



Halveringstid flöde 15.83 [min]
Halveringstid djup 21.0 [min]
 t_{75}/t_{25} flöde 6.19
 t_{75}/t_{25} djup 5.39
Nominell tömningstid 27.13 [min]
Restvärde flöde 33.87 %
Restvärde djup 41.44 %

Modell för flödesökning

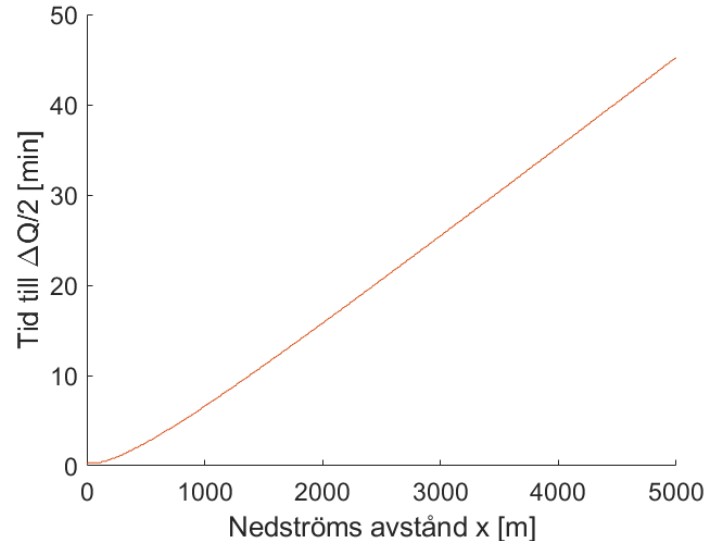


Beskriva dämpning?

- Halveringstid
- Tidskvot
- Nominell tömningstid

För miljötillämpningar

- Ytans förändring
- Ändringen i medelhastighet



Utvecklingsmöjligheter

- Utvärdera modellerna kvantitativt (validering, hitta begränsningar osv.)
- Utveckla verktyget
 - Öka komplexiteten (t ex. fler val av tvärsnitt, öppnings/stängningstider)
 - Flera flödesändringar i följd
 - Inkludera miljöpåverkan direkt i resultaten
- Hitta intuitiva sätt att beskriva dämpningen

Tack för visad uppmärksamhet!



anders.g.andersson@ltu.se