

# Trängslet, flödesdimensionering

Historik, åtgärder, filosofi

Agne Lärke/ Per Fektenberg 2022-03-30

# Övergripande anläggningsbeskrivning

- Ca 900 m lång jord och stenfyllningsdamm
- Dammens största höjd är ca 126 m
- Ett årsregleringsmagasin på 880 Mm<sup>3</sup> eller 10 185 DE
- Dammen har ett utskovsparti försett med två, 10 m breda, identiska segmentluckor
- Den total avbördningsförmågan vid dämning-gränsen (DG) uppgår till 875 m<sup>3</sup>/s.
- Dammsäkerhetsklass A

# Flödesdimensionering på 90-talet, första beräkningen

- 1990, första utgåvan av Flödeskommitténs Riktlinjer.
- I Dalälven initierade DVF arbetet med flödesdimensionering omkring mitten av 90-talet.
- I den första beräkningsomgången och med de första modelluppsättningarna beräknades det dimensionerande värsta flödestillfället för dammen vid Trängslet.
- SMHI:s HBV modell användes vid dessa beräkningar.
- Passiv dämpning förutsattes vid beräkningen. Alltså fri avbördning via utskoven d.v.s. ökande avbördning med stigande vattenyta.
- I regleringsrutinen tappades inget vatten innan vattenytan nått DG. (Det fanns en tanke med detta)

# Flödesdimensionering på 90-talet, första resultatet samt åtgärder

- Resultaten visade att dammen inte klarade att uppfylla kraven ställda i Flödeskommitténs Riktlinjer med de förutsättningar som använts vid beräkningen.
- Vattenytan steg i beräkningen ca 2,7 m över DG och ca 1,2 m över TK, dåvarande tät kärnans, överkant.
- 1999 beslutade Stora Enso Energy, dåvarande ägare, tillsammans med Dalälvens vattenregleringsföretag, DVF, att höja tät kärnan och dammkrönet. TK höjdes med ca 1,5 m och DK, dammkrönet, med ca 3 m.
- Det enligt Flödeskommitténs framräknade dimensionerande vattenstånd ligger efter denna åtgärd ca 0,3 m under nya TK.
- Som skydd mot vågskvalp och snedställning av vattenytan byggdes en betongparapet, anslutande i TK längs dammens krön.
- Efter denna åtgärd var det klang och jubelfest då dammen ansågs vara säkrad med avseende på extrema flöden för all framtid 😊 (Tjoho!!)

# Flödesdimensionering på 90-talet, bilder 1999, åtgärder.



# Flödesdimensionering på 2000-talet, förändrat resultat

- Dalälvens vattenregleringsföretag, DVF, modifierar regleringsrutinen så att avbördningen inleds i ett tidigare skede än i den ursprungliga beräkningen.
- Avbördning inleds nu så fort vattennivån når tröskelhöjden i utskovspartiet ca 9 m under DG. Fortfarande passiv dämpning.
- Detta sänkte det dimensionerande vattenståndet med ca 0,4 m. Det ger en något större marginal till nya TK. Dock väldigt marginell ca 0,7 m.
- Här framgår klart problemet med ytutskov och dess förmåga att väsentligt sänka det dimensionerande vattenståndet. Det tar tid att bygga upp avbördningskapaciteten med stigande vattenyta. Den är naturligtvis beroende av tröskelhöjdens förhållande till DG.

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering - utgångsläge

## Följande förutsättningar råder vid förstudiens start

- Beräkningar utförda med äldre HBV modell
- Dimensionerande tillfälle med väderutveckling enligt år 1978.
- Vårflöde och total dimensionering ger värsta tillfället.
- Dimensionerande vattenstånd 2,35 m över DG och 0,7 m under TK.
- Dimensionerande högsta tappning 1 217 m<sup>3</sup>/s.
- Dimensionerande högsta tillrinning 1 976 m<sup>3</sup>/s.
- Avbördningsförmåga vid DG 875 m<sup>3</sup>/s.
- Avbördningsförmåga vid TK ca 1 400 m<sup>3</sup>/s.
- Avbördningsförmåga vid DK ca 1 800 m<sup>3</sup>/s.

Ovanstående visar att dammen vid Trängslet rent teoretiskt uppfyller Flödeskommitténs riktlinjer så som den är beskaffad efter åtgärden 1999. Marginalerna upplevdes dock som små och därför valde Fortum att än en gång studera denna fråga.

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering kontrollberäkning med HBV -96

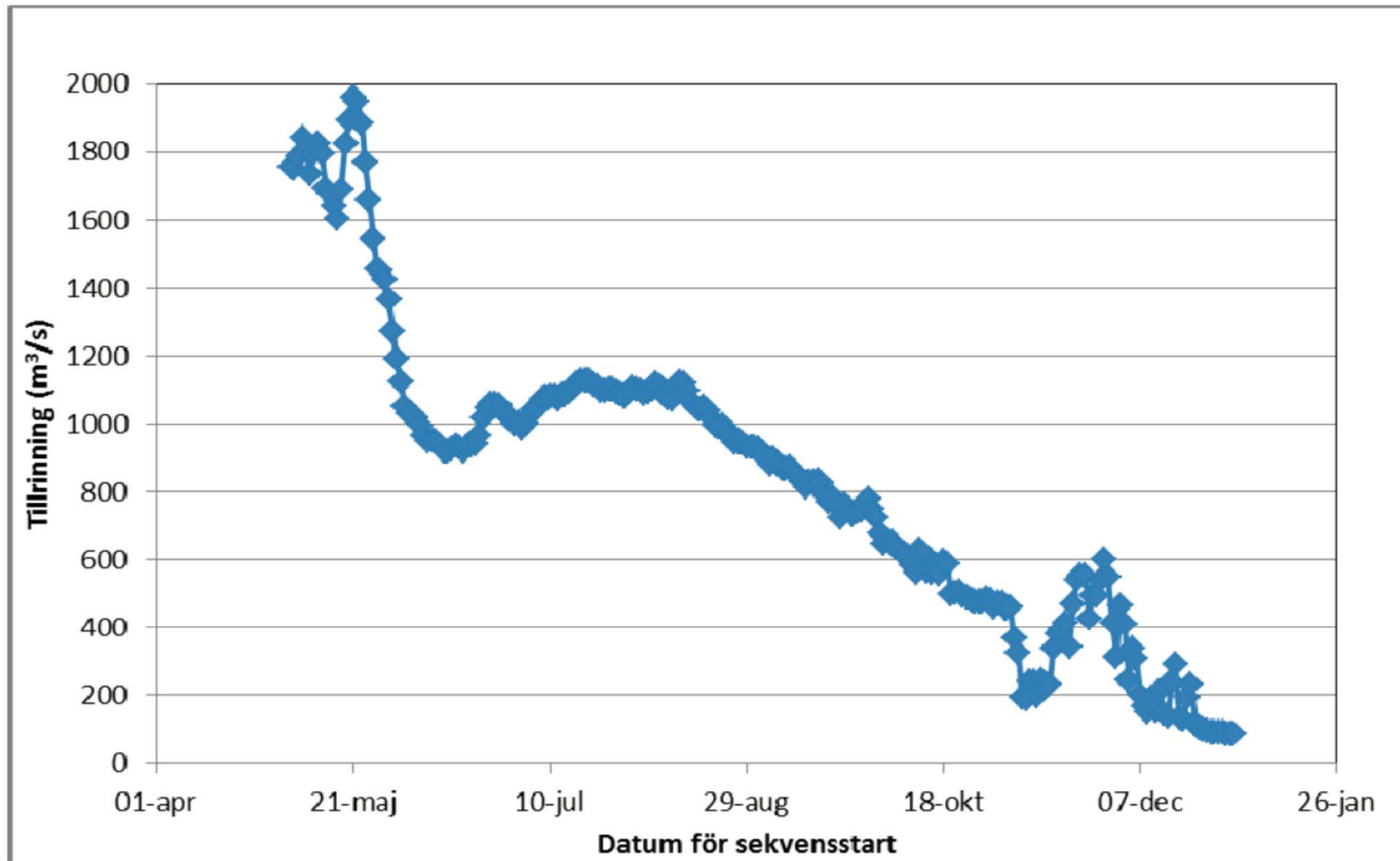
- **2011** utfördes en kompletterande beräkning med den senare och nu rådande avrinningsmodellen HBV-96.
- Vid denna beräkning utfördes också en utredning och beräkningar avseende förväntad klimatutveckling och dess påverkan på dimensionerande flöden.
- Vid beräkningen användes areella indata för nederbörd och temperatur. Beräkningar utfördes med faktisk väderutveckling för perioden 1990-2010.
- Beräkningen med HBV-96 gav ett nytt värsta tillfälle med väderutveckling enligt år 1995, med ett vattenstånd på +424,33. (Varför blir det så här??)
- En kontrollberäkning utfördes mot tidsperioden, 1977-1990 som använts i grundberäkningen på 90-talet. HBV-96 ger även då ett värsta tillfälle för 1978 men med ett lägre vattenstånd, +423,99. Den gamla HBV modellen för år 1978 gav ett vattenstånd på +425,29. (Varför ??)



# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering kontrollberäkning med HBV -96

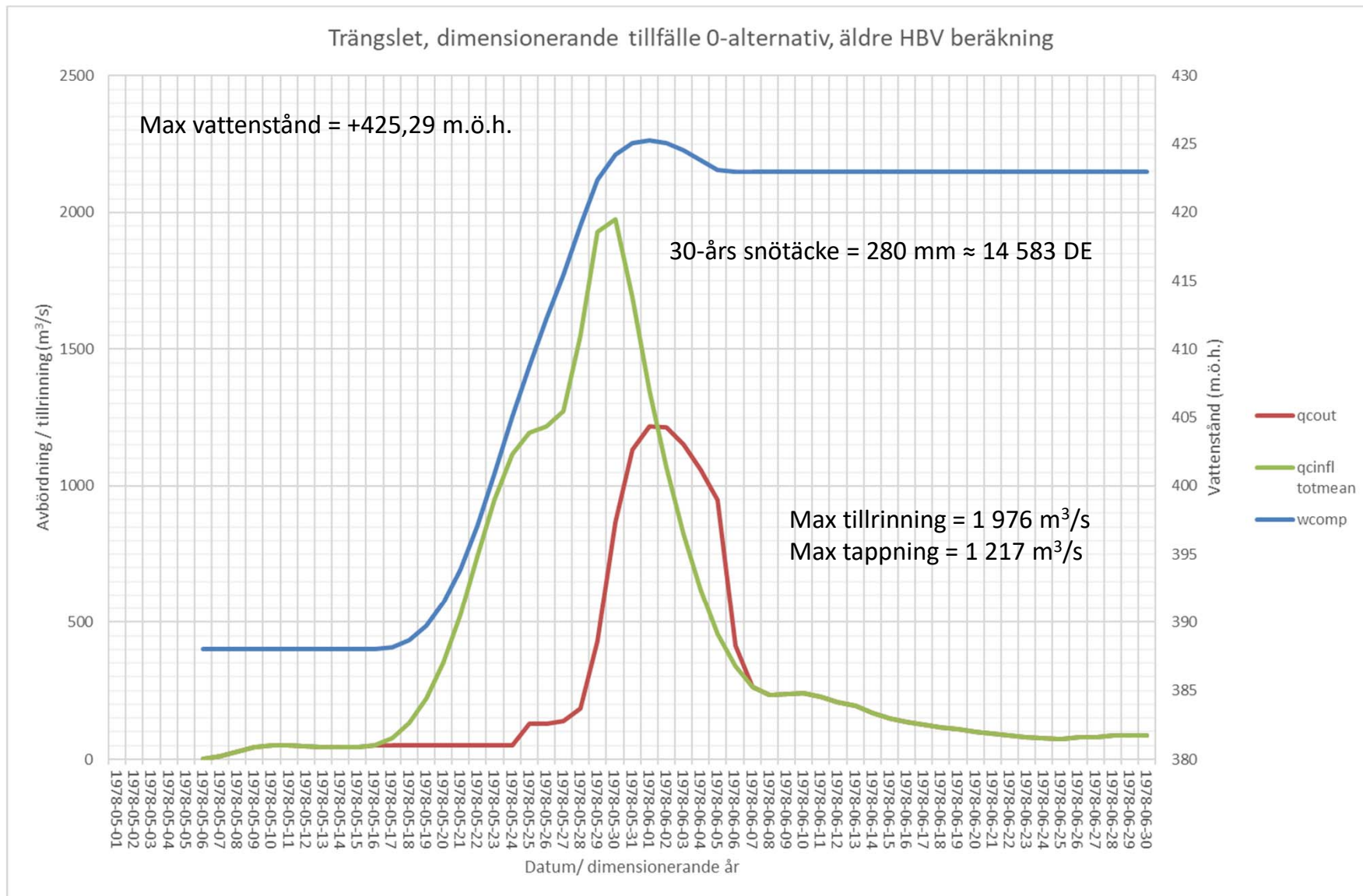
- Den gamla modellen lägger generellt upp lite mer snö än den nya, ca 3%.
- Detta påverkar naturligtvis även 30-årssnötäcket vilket följaktligen minskar med ca 3% i beräkningarna med HBV-96 modellen.
- Skillnaden i volym mellan vattenstånden +425,29 och +423,99 motsvarar 16 mm nederbörd över hela avrinningsområdet.
- Det är således förhållandevis små variationer i nederbörd som kan orsaka betydande variationer i vattenstånd.
- HBV-96 modellen presterar bättre än den gamla HBV-modellen då utvärderingskriterier jämförs.
- Vi kunde i alla fall konstatera att senare eller nyare modellberäkningar inte ger ett värre tillfälle än det vi hela tiden utgått ifrån och arbetat med.

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering kontrollberäkning med HBV -96



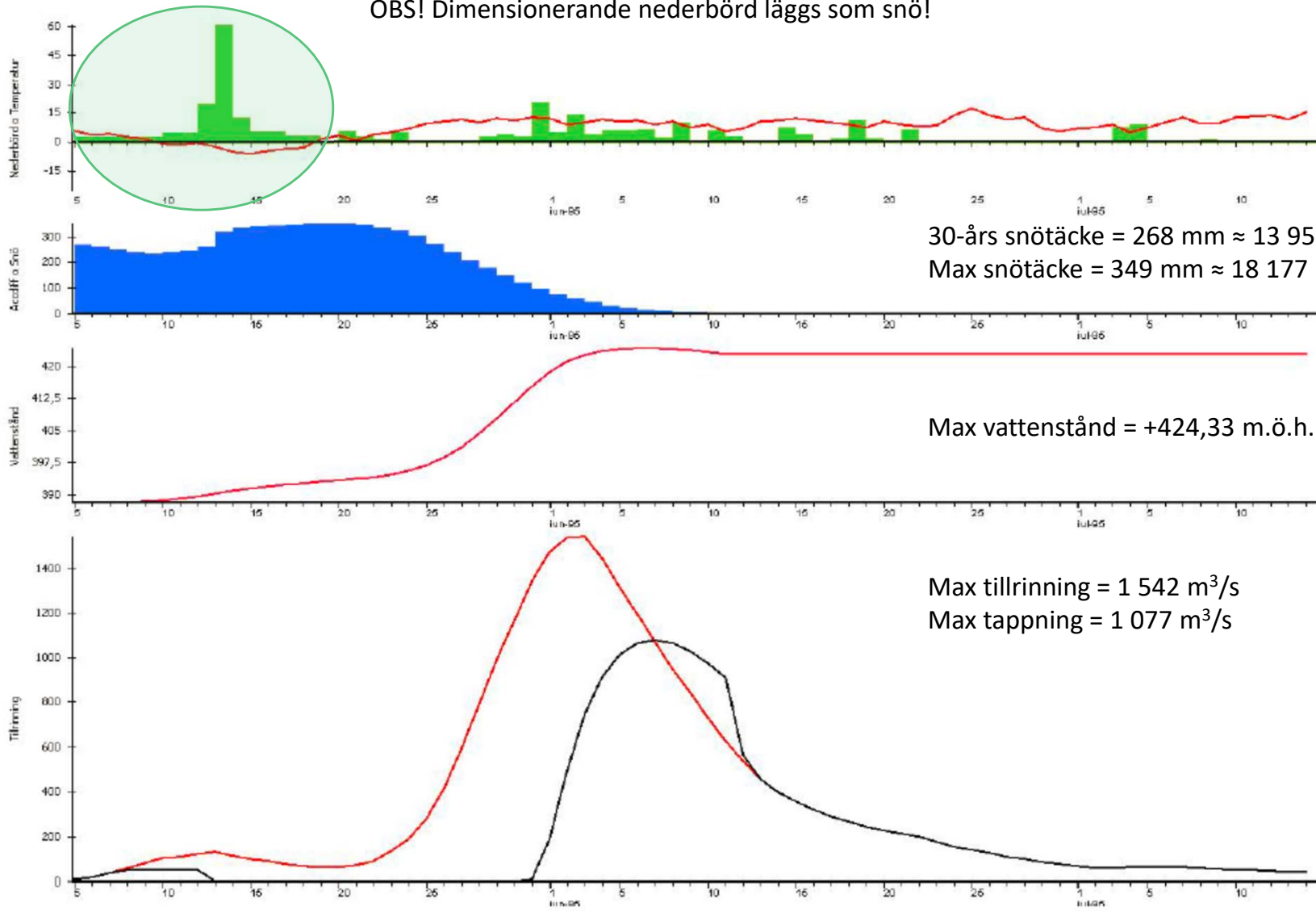
Figur 9 Maximal tillrinning till Trängslet beroende på sekvensstart.

# Flödesdimensionering på 2007- 2016, dimensionerande tillfälle, äldre HBV modell. Dimensionerande år 1978.



# Flödesdimensionering 2011, dimensionerande tillfälle, HBV-96. Dimensionerande år 1995.

OBS! Dimensionerande nederbörd läggs som snö!



30-års snötäcke = 268 mm  $\approx$  13 958 DE  
Max snötäcke = 349 mm  $\approx$  18 177 DE

Max vattenstånd = +424,33 m.ö.h.

Max tillrning = 1 542 m<sup>3</sup>/s  
Max tappning = 1 077 m<sup>3</sup>/s

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering – filosofi - lösningsförslag

- Lösningen skall avsevärt förbättra dammsäkerheten med avseende på höga flöden upp till dimensionerande flöde.
- Hitta en lösning som så lite som möjligt påverkar nedströmsförhållanden.
- Flera alternativa lösningar studerades b.l.a. en fast 125 m lång bergfast överströmningströskel belägen vid DG kompletterad med en klafflucka med något lägre tröskel.
- Ovanstående lösning tvingar dock upp vattenståndet ca 0,5 m ovan DG och ca 2,5 m under TK. Lösningen ger en marginellt högre tappning än i 0-alternativet.
- Lösningen i sig bedömdes som tillräcklig och verifierades med modellprov som genomfördes vid VAW/ ETH i Zürich.

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, andra felmoder - filosofi

- I förstudien utgjorde flödesdimensionering och hantering av höga flöden endast en felmod. I detta fall var den heller inte den mest kritiska felmoden, då dammen rent teoretiskt redan uppfyllde kraven ställda i flödeskommitténs riktlinjer.
- Vid arbetet med frågor kring inre erosion i dammen och dimensionerande läckage växte tankar fram om att undersöka möjligheterna att sänka av magasinet i händelse av skada i dammen.
- De omloppstunnlar som användes vid byggandet av dammen utreddes. Fokus låg på att i första hand kunna nyttja en omloppstunnel för att, i händelse av skada i fyllningsdammen, sänka av magasinet. En form av ”fuse plugg”.
- Efter en tids arbete såg vi möjligheten att även nyttja en av omloppstunnlarna som ett djuputskov. Vi började därför undersöka hur detta skulle påverka de flödesdimensionerande förhållandena.

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, varför ett djuputskov?

Djuputskovet kommer att ge möjlighet till :

- **Kraftigt ökad avsänkningskapacitet. En förmåga som avsevärt ökar beredskapen och möjligheten att reparera potentiella framtida skador i dammen.**
- **Ökad avbördningskapacitet (750m<sup>3</sup>/s) för att kunna hantera designflödet.**
- **Redundans i avbördningskapacitet**
- **Mindre känslighet för drivgods**
- **Möjlighet att starta spill från reservoaren i ett tidigt skede med höga flöden**
- **Spilla det minimiflöde som krävs enligt miljödom.**
- **Reglera hela Trängslets regleringsvolym för Dalälvens 18 nedströms liggande kraftstationer i händelse av ett större haveri i Trängslets kraftstation.**

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016,

Under förstudien har en mängd olika djuputskovslösningar studerats.

Det alternativ vi valt har hög avbördningskapacitet men inte möjlighet att totalt tömma magasinet.

Ett designkriterium har varit att kunna hålla nivån i magasinet lågt under ett helt år, detta för att ge oss möjlighet att reparera dammen.

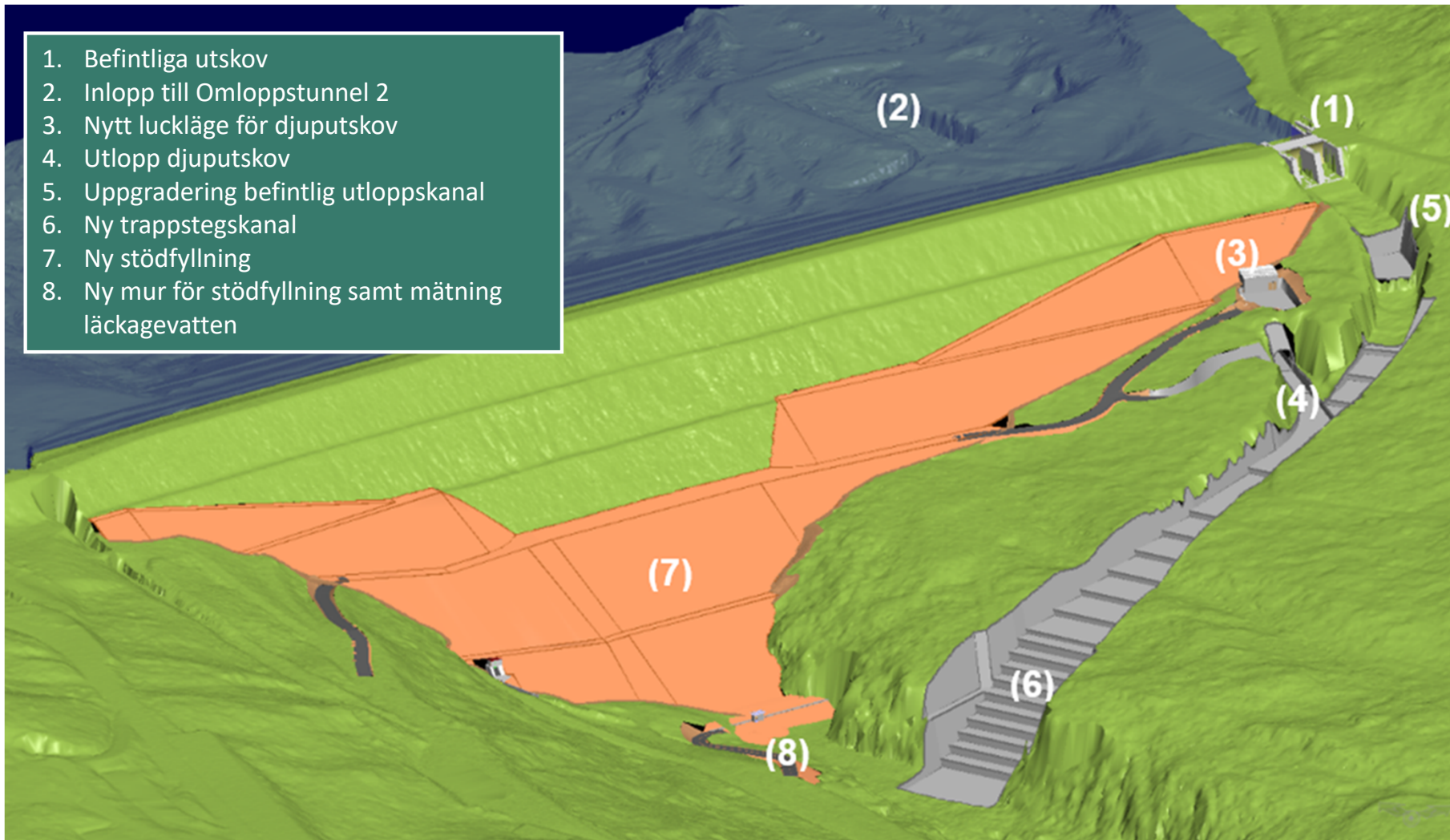
Historiskt har många djuputskov vid Sveriges kraftverk gjutits igen på grund av att man inte har kunnat underhålla dem på ett rationellt sätt. Vi nyttjar en befintlig omloppstunnel som ger oss goda möjligheter att sköta och underhålla det nya djuputskovet. De flesta år när magasinet ligger som lägst kan man enkelt tömma tunneln för inspektioner och underhåll.

Då tunneln går under dammen är vi mycket måna om att bibehålla tätlinjes integritet, från tätlinjen under dammen är tunneln plåtklädd för att inte få ut tryck i berget under tatkärnan.



# Pågående projekt Åtgärder

1. Befintliga utskov
2. Inlopp till Omloppstunnel 2
3. Nytt luckläge för djuputskov
4. Utlopp djuputskov
5. Uppgradering befintlig utloppskanal
6. Ny trappstegskanal
7. Ny stödfyllning
8. Ny mur för stödfyllning samt mätning läckagevatten



# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering med djuputskov.

- Ett djuputskov med intag under sänkningsgränsen, SG, ger möjligheten att när som helst, men kanske framförallt i ett tidigt skede, avbörda vatten under kontrollerade och begränsade förhållanden.
- Ytututskoven har en tröskelhöjd som innebär att magasinet måste fyllas till 64% innan avbördning kan inledas. Tillrinningen är då ofta omkring max i de dimensioneringsberäkningar som utförts, 1 500 m<sup>3</sup>/s – 2 200 m<sup>3</sup>/s.
- Det djuputskov som just nu byggs vid Trängslet får en teoretisk avbördningskapacitet vid SG på ca 400 m<sup>3</sup>/s och vid DG ca 750 m<sup>3</sup>/s.
- Här öppnas möjligheten att påverka hela den dimensionerande flödesutvecklingen vid vattennivåer i magasinet mellan SG och DG.

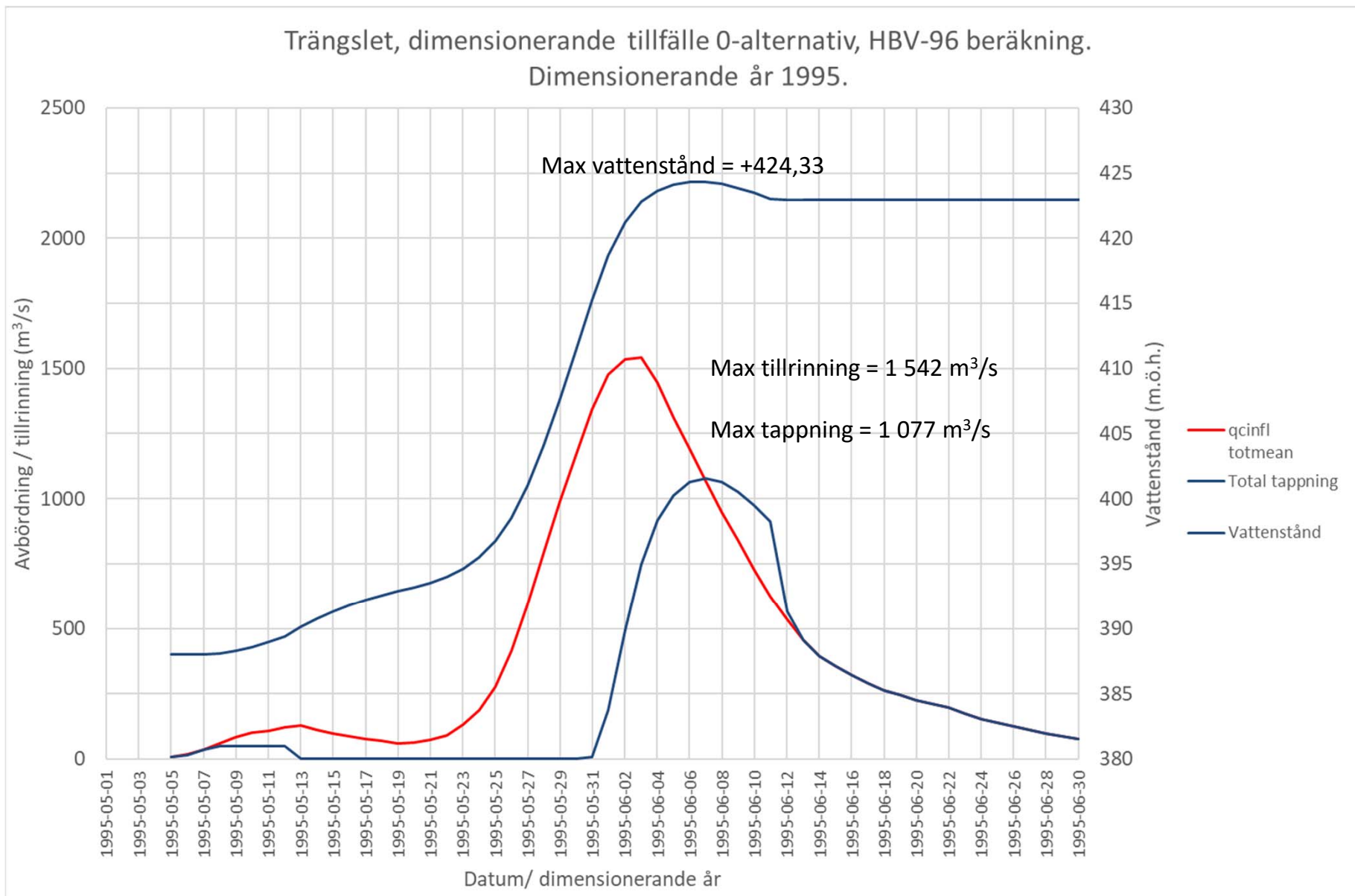
# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering med djuputskov.

- Fortum utförde tillsammans med DVF beräkningar med den äldre HBV modellen med djuputskovet i kombination med befintliga ytutskov.
- Modellen har vissa begränsningar då regleringsstrategier skall beskrivas.
- En förenklad regleringsstrategi där djuputskovets fulla kapacitet tas i bruk vid 52 % fyllnadsgrad, ca 13 m under DG.
- Resultatet visade att vi inte når dämningssgräns i något fall av dimensioneringsberäkningar för åren 1977 t.o.m. 1993.
- Värsta tillfället blir återigen år 1978 med ett högsta vattenstånd på +421,21 jmf. +425,29 utan djuputskov. Vattenståndet kulminerar således 1,7 m under DG. Totalt har vi sänkt vattenståndet med 4,08 m.
- Den högsta tappningen blir 1 360 m<sup>3</sup>/s jmf. med 1 217 m<sup>3</sup>/s.
- Men det fanns mer att göra! En mer realistisk vattenhantering och regleringsstrategi.

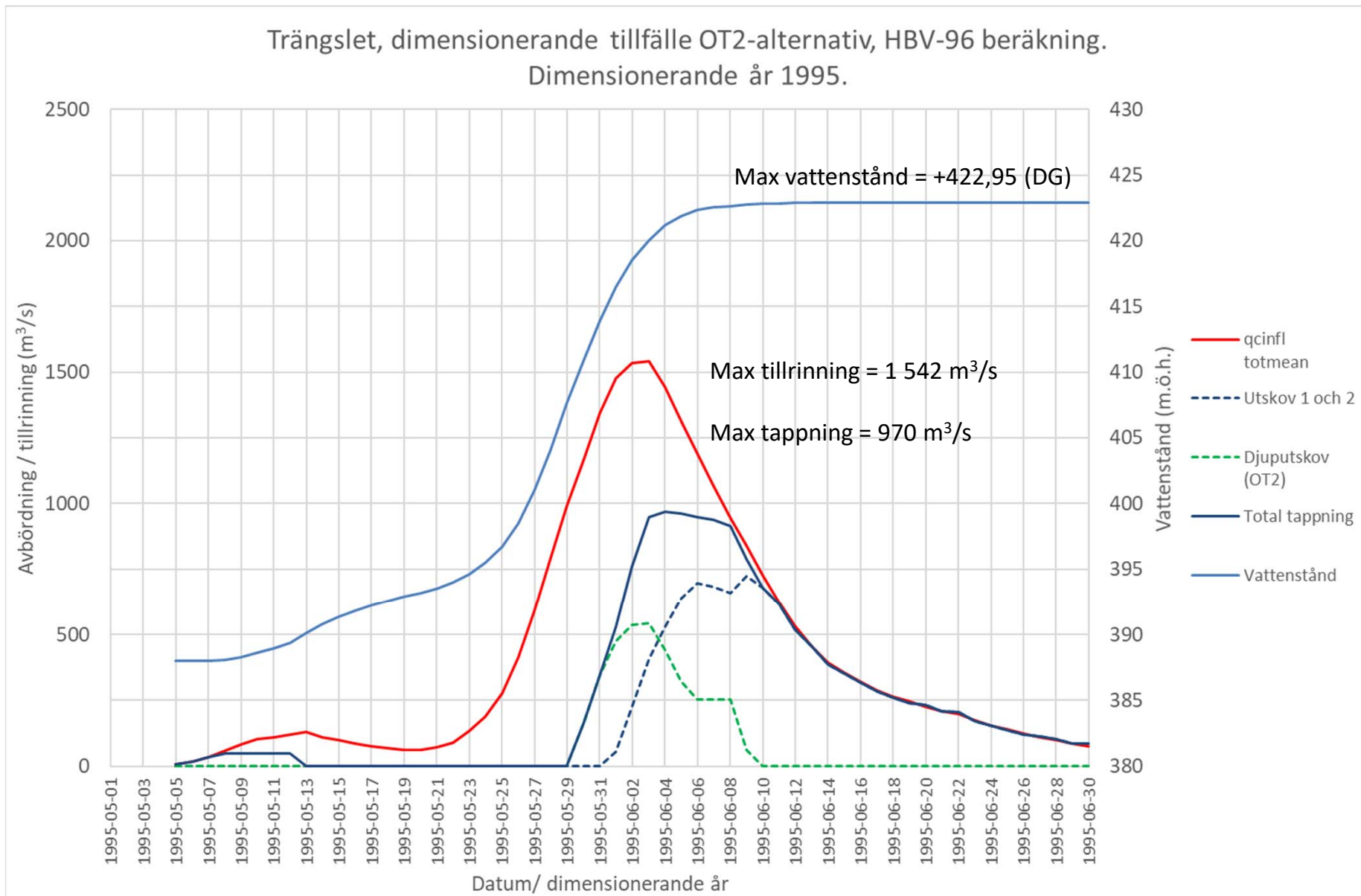
# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering med djuputskov.

- Den gamla modellen har vissa begränsningar då regleringsstrategier skall beskrivas.
- Om vi applicerar en mer realistisk regleringsstrategi så kan vi sänka utflödet, tappningen ytterligare, vid det dimensionerande tillfället.
- Vi kan konstatera att den verkliga tillrinningen till Trängslet har aldrig överstigit 800 m<sup>3</sup>/s. Som mest ca 780 m<sup>3</sup>/s år 1966 och över 700 m<sup>3</sup>/s i två dygn år 1995.
- Låt os säga att vi bestämmer att mer än 1 000 DE aldrig får magasineras under ett dygn om prognoser pekar på en fortsatt tillrinningsökning. D.v.s. har vi 1 200 m<sup>3</sup>/s i tillrinning så spiller vi överskottet 200 m<sup>3</sup>/s , 1 500 m<sup>3</sup>/s i tillrinning så spiller vi 500 m<sup>3</sup>/s ..... o.s.v.
- Med djuputskovet kan vi spilla närsomhelst när vi anser det vara nödvändigt.
- Hur ser det ut om vi gör som nämnts ovan...??

# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering med djuputskov, dim. år 1995

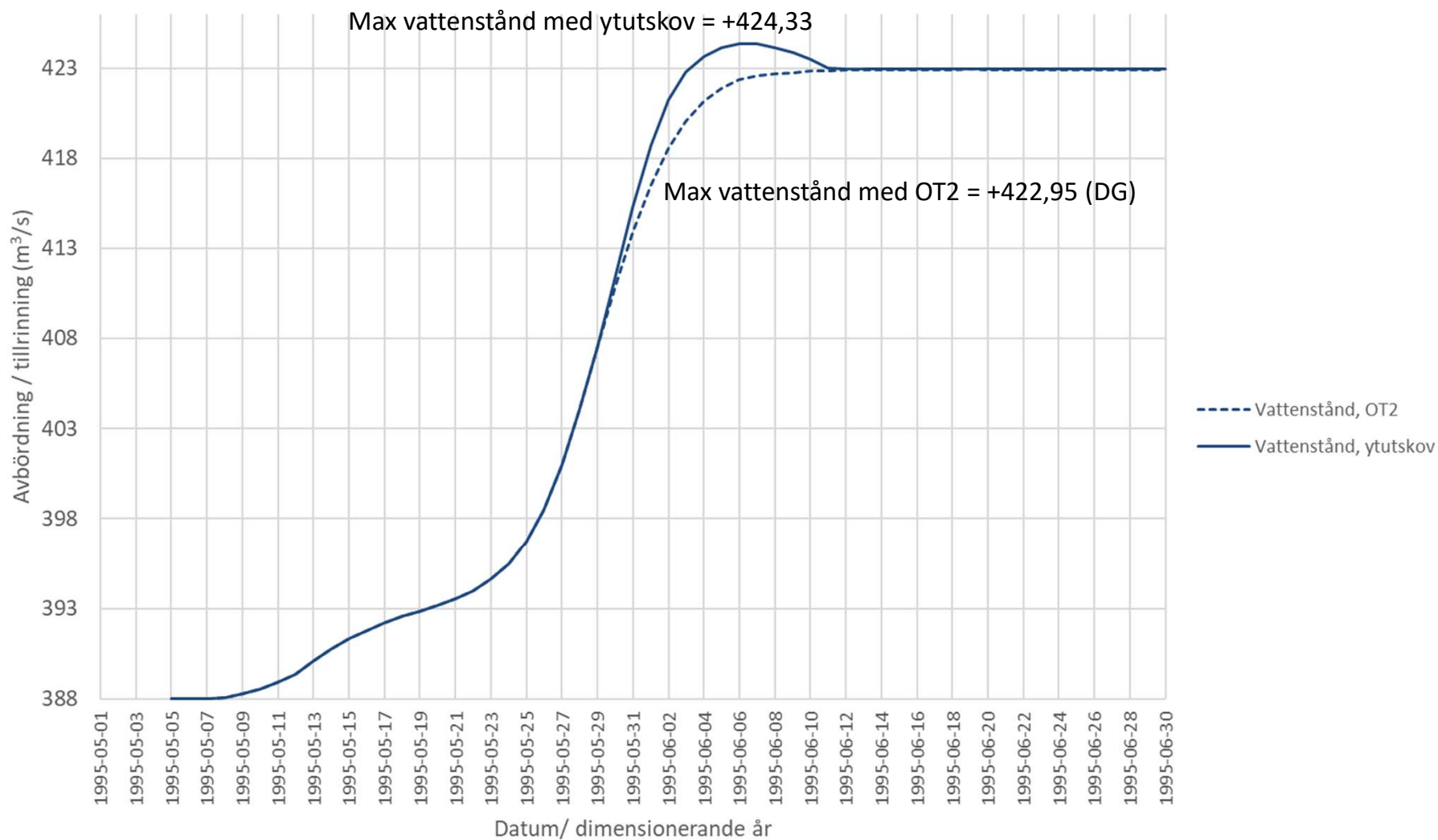


# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering med djuputskov, dim. år 1995



# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering med djuputskov, dim. år 1995

Trängslet, dimensionerande tillfälle 0-alternativ jmf. OT2 vattenstånd, HBV-96 beräkning.  
Dimensionerande år 1995.



# Förstudie dammsäkerhet 2007 – 2016, flödesdimensionering sammanfattning för Trängslet.

- Vi har ökat den totala avbördningskapaciteten vid DG från 875 m<sup>3</sup>/s till ca 1 625 m<sup>3</sup>/s. Vid TK är ökningen 1 400 m<sup>3</sup>/s till ca 2 100 - 2200 m<sup>3</sup>/s vilket ungefär motsvarar de högsta beräknade tillrinningarna till Trängslet.
- Djuputskovet ger oss möjlighet att teoretiskt undvika överdämning vid det dimensionerande tillfället. Med en rimlig regleringsstrategi har vi sänkt det dimensionerande vattenståndet med ca 2,35 m. Högsta dim. vattenstånd = DG.
- Med en rimlig regleringsstrategi ser vi heller ingen ökad max tappning från dammen vid det dimensionerande tillfället. Snarare ser vi en något minskad sådan.
- Vi har hela fribordet kvar till överkant TK, 3 m, som säkerhetsmarginal. En marginal som bedöms täcka in hittills kända variationer i förmodad klimatpåverkan. Här bör dock kompletterande utredningar göras vid kommande dimensioneringsberäkningar. Dessa administreras av DVF.
- Det finns ytterligare ett färdigt alternativ framtaget om fler åtgärder skulle visa sig nödvändiga i framtiden, den fasta tröskeln.
- Dammanläggningen klarar även ett dimensionerande tillfälle utan fungerande djuputskov. Dock med små marginaler.
- Vi har skapat oss möjligheter att påverka andra felmoder, framförallt kopplat till inre erosion, då det nu med djuputskovet är möjligt att sänka av magasinet under SG. Under normala vårflöden kan vattenståndet i det närmaste hållas vid eller under SG året om vid eventuell reparation av dammen.
- Vi kan bibehålla produktionen i nedströms liggande kraftverk vid eventuellt haveri i kraftstationen. Vatten kan då avbördas via djuputskovet. Vi säkerställer även minimitappningen året om.