

# Penalties in ProdRisk

Increased information to the user

FORFATTER	Birger Mo
PROSJEKT I HYDROCEN	WP 3, 5.3.5
DATO	20.12.2021
SAMARBEIDSPARTNERE	Fagutvalget WP3

## Abstract

This project has implemented functionality in ProdRisk that gives improved information to the users of ProdRisk about how user specified penalties for violation of different types of physical and environmental constraints affects the operation of a given hydro system. Calibration of penalties and possibly prioritization of violation of constraints can be very tricky in a stochastic model like ProdRisk for complicated water courses with many constraints.

Another important project result is a new researcher with competence on the ProdRisk code.

ProdRisk is used for medium-term hydro scheduling, maintenance planning and investment planning by almost all major hydro producers in Scandinavia.

The result of the project is a prototype version of ProdRisk that is available to all HydroCen participants with a ProdRisk licence. The new functionality will be included in the operative version of ProdRisk next year. Operationalization of the prototype will be funded by the maintenance project.

Contact ProdRisk prototype: Siri Mathisen, SINTEF Energy Research, [Siri.Mathisen@sintef.no](mailto:Siri.Mathisen@sintef.no)  
[Birger.Mo@sintef.no](mailto:Birger.Mo@sintef.no), SINTEF Energy Research, [Birger.Mo@sintef.no](mailto:Birger.Mo@sintef.no)

Contact operative versions of ProdRisk: Hans Olav Hågenvik, SINTEF Energy Research, [hans.hagenvik@sintef.no](mailto:hans.hagenvik@sintef.no)

## 1. Scope and objectives

The goal is to provide more information to the user of ProdRisk about how different penalties affect the solution. Users find it difficult to calibrate penalties to get satisfactory operation for complicated cascades systems with many constraints.

Furthermore, a secondary goal is to use the project to train a new researcher about ProdRisk methodology (Stochastic Dual Dynamic Programming) and program code.

## 2. Methods and findings

The purpose of the project is to give information to the users of ProdRisk that makes it easier to calibrate the different user specified penalties. The penalties are used to ensure that the optimization problem always have a solution, that constraints are fulfilled and for prioritization between conflicting constraints. Penalties may influence simulated operation of the system even if simulation results show no violation of any constraints.

Penalties may be specified individually for each reservoir and plant in the system for the following type of constraints:

- Time dependent minimum storage
- Time dependent maximum storage
- Time dependent minimum discharge
- Time dependent minimum bypass

ProdRisk solves an optimization problem formulated as a multistage stochastic optimization problem. In this optimization problem the future values of inflows and market prices are described by statistical models. The result from the optimization is a strategy for optimal operation. The optimal strategy is usually simulated (verified) for a limited set of scenarios, typically made up from "observed" inflows. The inflow and price scenarios used in the simulation may therefore be statistically somewhat different from the statistical models used in the optimization. This deviation and especially the statistical model's probability of negative inflows complicate calibration of penalties.

To help the user specify penalties that give desired system operation, the following new information is provided to the user:

Extended information about the actual constraints seen by the model. This is because soft reservoir constraints are modified to a new hard constraint internally before used in the optimization part of the model. Soft reservoir constraints are complicated constraints because they imply that discharge capacity depend on reservoir volume, i.e. a state dependency that is very complicated to handle in stochastic dynamic optimization problems.

- More detailed information about constraint violation in the final simulation (forward simulation).
- Statistical information about negative inflows in the optimization part (backward recursion).

- Information about constraint violation in the optimization part (backward recursion)

The implementation has not changed the most important results from ProdRisk. The optimal strategy should be the same as before the new implementation. This is a nice feature when introducing a new developer to ProdRisk. Even if the results should be the same, the tasks involved require understanding of many parts of the program codes, including the parallel processing part, since the new information that is presented is collected both from the backward recursion and forward simulation part of the algorithm.

More details about the project results are described in [1].

### 3. Discussion and conclusion

The project outcome is new information to the ProdRisk user about how penalties are used in ProdRisk. This new information should make it easier for users to get optimal and sought after system operation, fulfilling all physical and environmental constraints, if possible.

The main project result is a prototype ProdRisk model that is made available to all HydroCen participants that have a ProdRisk licence.

It has already been decided that the new functionality will be reimplemented in the commercial version of ProdRisk next year. The new functionality will then be available in the software that is used operationally by almost all large hydro producers in Scandinavia.

In short, the new functionality should make it easier to use the model and possibly improve operation of each local hydro system and consequently operation of the whole system.

### 4. References

Siri Mathisen, «Increased information to user about use of penalties in ProdRisk», project memo December 2021.

## Norwegian version

### Sammendrag

I prosjektet har vi implementert funksjonalitet i ProdRisk som gir mer informasjon til brukeren om hvordan brukerspesifiserte straffer knyttet til restriksjoner påvirker den optimale driften i modellen. Spesifisering og kalibrering av straffer kan være vanskelig i kompliserte serievassdrag med mange restriksjoner.

Et annet viktig prosjektresultat er en ny forsker med kompetanse på ProdRisk-koden.

ProdRisk benyttes til sesongplanlegging (vannverdiberegning), vedlikeholdsplanlegging og investeringsanalyser av de aller fleste vannkraftprodusenter i Norden.

Det viktigste resultatet fra prosjektet er en prototypemodell av ProdRisk. Prototypen er tilgjengelig for alle HydroCen-deltagere med brukerlisens. Funksjonaliteten er besluttet å bli inkludert i den operative versjonen av ProdRisk neste år. Dette arbeidet vil bli finansiert av vedlikeholdsprosjektet til modellen.

Kontakt ProdRisk prototyp: Siri Mathisen, SINTEF Energi, [Siri.Mathisen@sintef.no](mailto:Siri.Mathisen@sintef.no)  
[Birger.Mo](mailto:Birger.Mo@sintef.no), SINTEF Energi, [Birger.Mo@sintef.no](mailto:Birger.Mo@sintef.no)

Kontakt operativ versjon ProdRisk: Hans Olav Hågenvik, SINTEF Energy Research, [hans.hagenvik@sintef.no](mailto:hans.hagenvik@sintef.no)

## 5. Innledning

Prosjektets målsetningen er å gi brukerne av ProdRisk-modellen mer informasjon om hvordan brukerspesifiserte straffer knyttet til brudd på ulike typer restriksjoner påvirker løsningen fra modellen. Den nye informasjonen skal gjøre det enklere å spesifisere disse straffene, spesielt i serievassdrag med mange restriksjoner.

Prosjektet skal også bygge kompetanse på ProdRisk koden og SDDP metodikken hos en ny forsker.

## 6. Metode og resultater

Prosjektets målsetning er som nevnt tidligere å gi ny informasjon til brukerne som skal gjøre det lettere å spesifisere de straffer som benyttes i modellen for å overholde ulike typer restriksjoner. Straffene sikrer at optimaliseringsproblemet alltid har en løsning, at ulike typer av restriksjoner overholdes og at prioriteringen mellom dem er i henhold til regelverket. Staffene kan påvirke driften av systemet selv om simuleringene viser at alle restriksjoner er oppfylt.

Straffer kan spesifiseres spesifikt for hvert magasin og stasjon i systemet:

- Minimum magasinfylfilling
- Maksimal magasinfylfilling
- Minimum tapping
- Minimum forbitapping

ProdRisk løser et multisteg stokastisk optimaliseringsproblem. I formuleringen av dette problemet er fremtidig pris og tilsig modellert ved hjelp av statistiske modeller. Resultatet fra optimaliseringen er en strategi for hvordan system skal driftes optimalt. I sin enkleste form er strategien gitt av vannverdier som funksjon av magasinfylfilling og tidspunkt. Strategien verifiseres vanligvis ved en simulering for et begrenset sett scenarier for pris og tilsig. Scenariene for tilsig er konstruert basert på observerte tilsig og kan derfor være statistisk noe forskjellig fra den statistiske modellen brukt i beregningen av strategien. For eksempel gir den statiske modellen mulighet for negative tilsig.

For å hjelpe brukeren med å spesifisere de ulike straffene presteres følgende ny informasjon til brukeren fra en beregning med modellen:

- Ny informasjon om den reelle magasinrestriksjonen som er benyttet internt i modellen. Dette fordi en myk magasinrestriksjon spesifisert av bruker blir konvertert til en hard restriksjon internt i modellen. Det er brudd på den internt beregnede harde restriksjonen som straffes. En myk restriksjon betyr at tapping ikke er lovlig hvis fylling er under restriksjonskravet. Denne typen magasinavhengige restriksjoner er svært vanskelig å håndtere helt korrekt i stokastisk dynamiske optimaliseringsproblem.
- Mer detaljert informasjon om brudd på restriksjoner i den avsluttende simuleringen.
- Statistisk informasjon om hyppigheten av negative tilsig i bakoverdelen av algoritmen.
- Detaljert informasjon om brudd på restriksjoner i bakoverdelen av algoritmen

Implementasjonen påvirker ikke beregningen i ProdRisk. Den optimale strategien er akkurat som før forutsatt at brukeren har spesifisert de samme straffene. Dette gjør det forholdvis enkelt å introdusere en ny forsker til ProdRisk koden. Selv om endringene ikke påvirker beregningene må man likevel forstå de fleste hoveddelene av modellen inkludert tilsigsmodellen, bakover og foroveriterasjonen og parallellprosesseringen fordi den nye informasjon som presenter hentes ut fra ulike deler av algoritmen.

Mer detaljer om selve implementasjonen og hvordan de nye resultatene presenteres finnes i [1].

## 7. Diskusjon og konklusjon

Hovedresultatet fra prosjektet er en ny prototypeversjon av ProdRisk som gir mye mer informasjon om hvordan straffene påvirker resultatet fra modellen. Informasjonen skal gjøre det enklere for bruker å få en ønsket optimal disponering av systemet som oppfyller miljørestriksjonene.

Prototypen blir tilgjengelig for alle HydroCen-deltagere som har bruksrett.

Det er allerede bestemt at funksjonaliteten i prototypen skal reimplementeres i den kommersielle versjonen av ProdRisk neste år. Den vil da bli tilgjengelig i det programmet som benyttes i den daglige driften av de fleste større produsenter i det Skandinavia.

Den nye funksjonaliteten skal gjøre det lettere å bruke ProdRisk modellen og bidra forbedret drift av hvert enkelt vannkraftsystem som igjen gir en bedre drift av hele kraftsystemet.

## 8. Referanser

Siri Mathisen, «Increased information to user about use of penalties in ProdRisk», project memo December 2021

