

Multikriterie-analyse av habitat- forbedringstiltak i regulerte elver – eksempel fra Mandalselva

Muligheter og utfordringer som kompensasjonstiltak

12.11.2015

David N. Barton,

**Ana Adeva Bustos, Hans-Petter Fjellstad, Berit Köhler,
Richard Hedger, Knut Alfredsen, Peggy Zinke, Øystein Ås,
Torbjørn Forseth, Håkon Sundt**

CEDREN

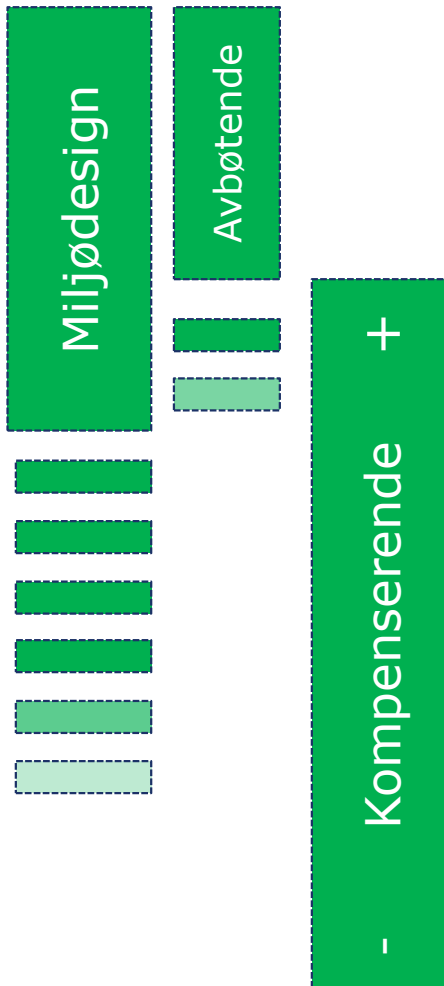
Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Outline / Oversikt

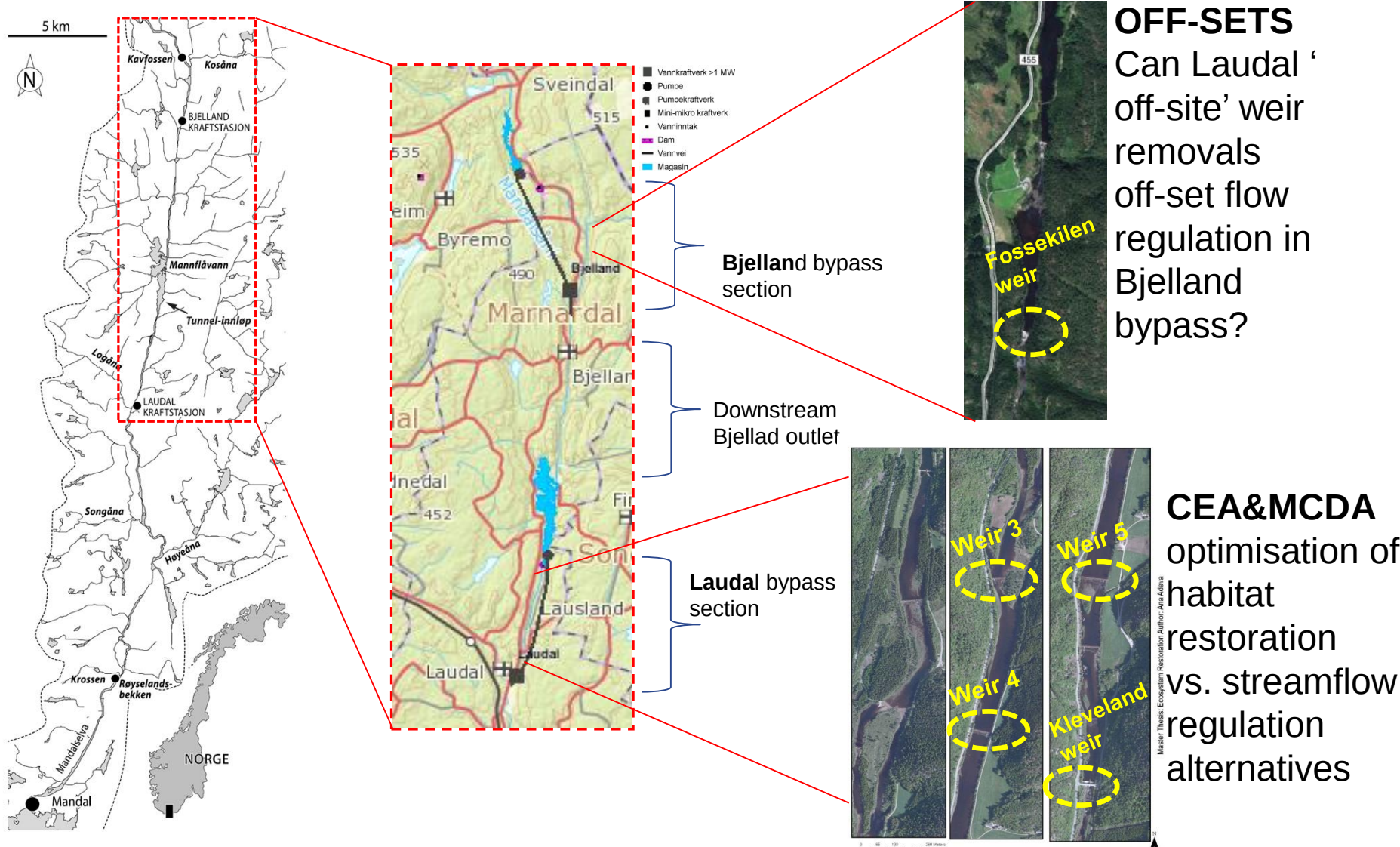
- 1. Definisjoner & spørsmål**
- 2. Kostnadseffektivitets-analyse av ulike vannføringsregimer med fjerning av terskler som kompensasjonstiltak**
- 3. Multi-kriterie-analyse av fjerning av terskler som kompensasjonstiltak**
- 4. Konklusjoner: muligheter og utfordringer**

1. «Habitat offsetting» en del av «kompenserende tiltak» en del av miljødesign

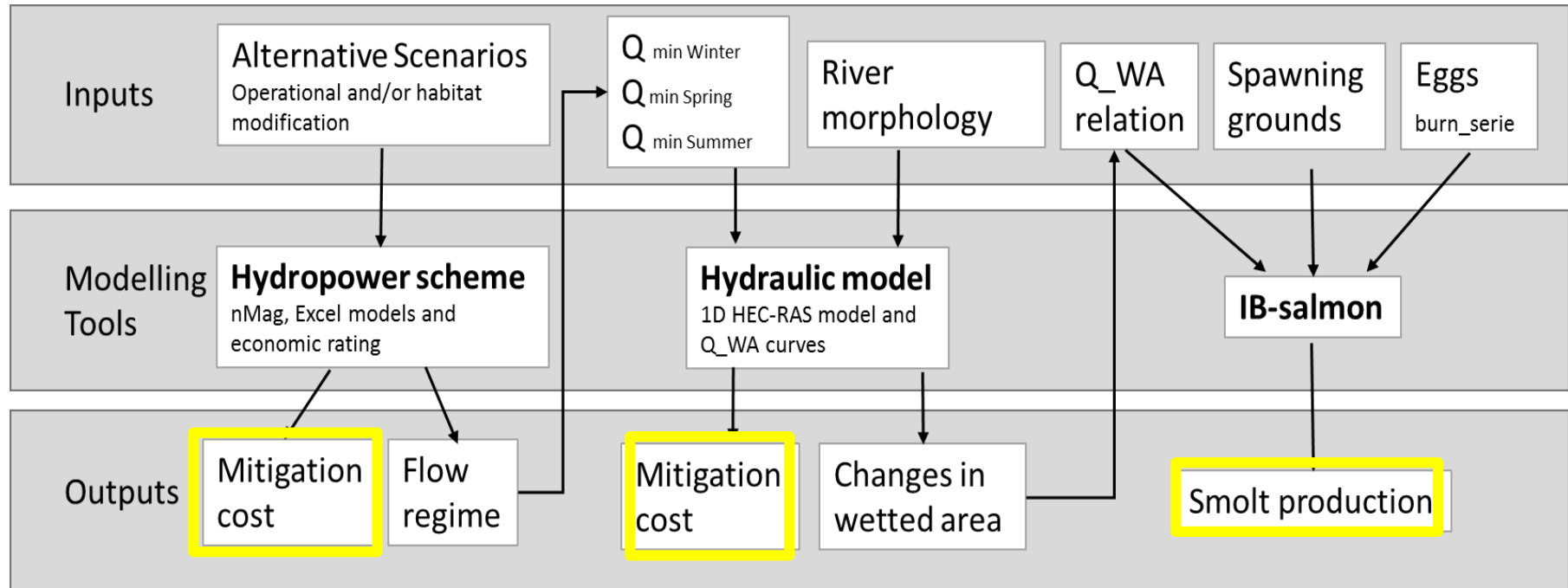


Hvor, når?		Eksempler vannkraft
Under etablering og drift		Minstevannføring smolt-utvandringsperiode. Fjerning vandrings-hindre ved inntak til k.v.
Samme strekning; samme habitat	●	Fjerning av terskler; grusutlegging gyteplasser
Samme strekning; ulikt habitat		Restaurering for andre akvatiske arter Tilrettelegging for brukere
Annen strekning; samme habitat	●	Fjerning av terskler; grusutlegging gyteplasser
Annen lokalitet; ulikt habitat		Tiltak for andre arter ved regulering av magasin; areal-restaurering...
Annet vassdrag samme habitat		Restaurering av annen laksestamme

Main research questions



Kostnads- og effektanalyse med modellerings-kjede



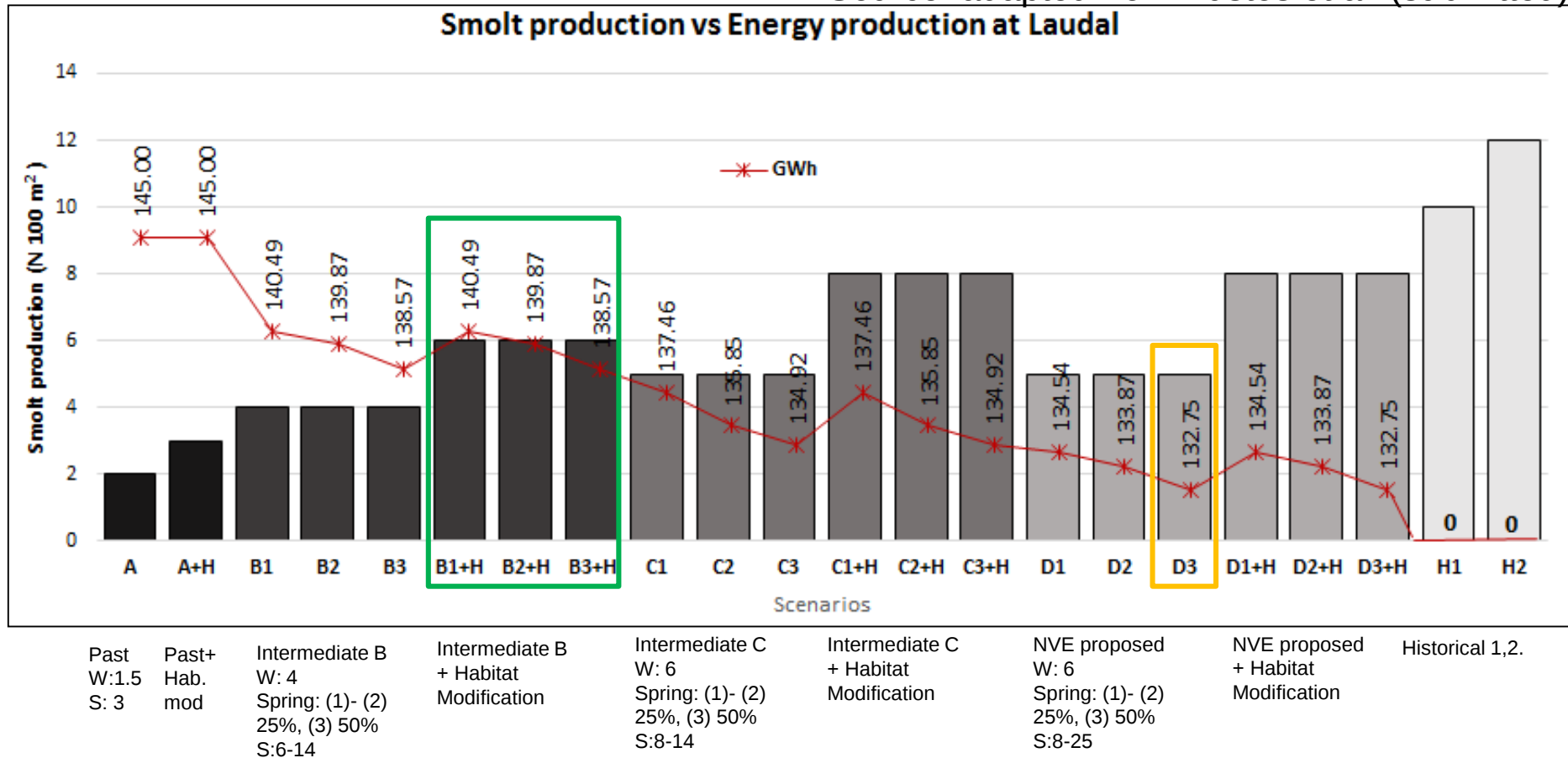
Source: adapted from Bustos et al. (submitted)

Scenarier simulert i EcoManage – første resultater

Scenario	Winter discharge (m3/s)	Spring release (m3/s) §	Summer discharge (m3/s)	Habitat modification	
				Weir removal (W)	Spawning gravel addition (G)
A – voluntary release	1.5 (1*)	0%	3.0 (2*)	+H: all weirs	yes
B - intermediate	4.0	0%,25%,50%	6.0-12.0	+H: all weirs	yes
C - intermediate	6.0	0%,25%,50%	8.0-14.0	+H: all weirs	yes
D – NVE regime	6.0	0%,25%,50%	8.0-25.0	+H: all weirs	yes

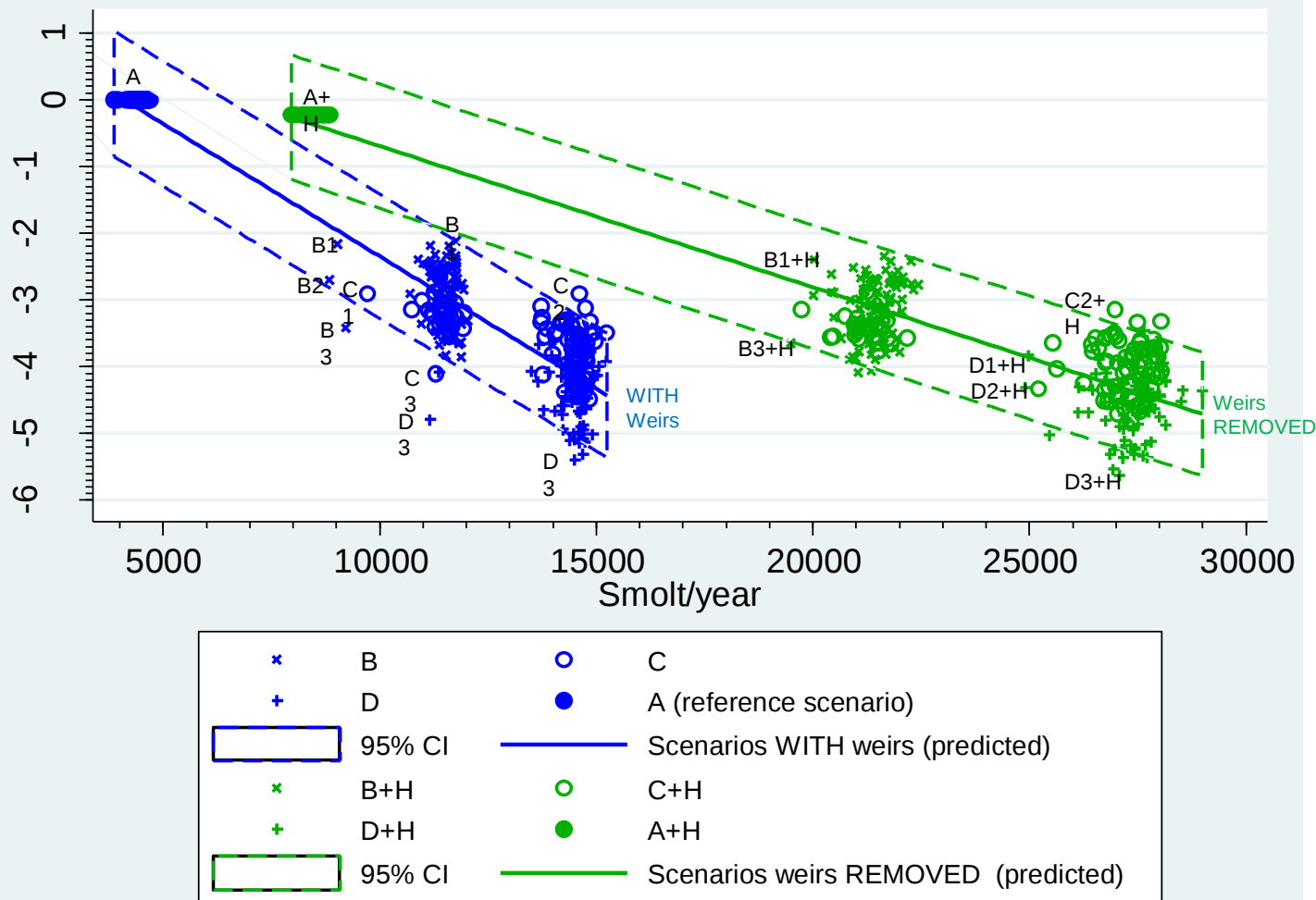
Sammenligning av årlige kostnader og smolt per m2 i Laudal

Source: adapted from Bustos et al. (submitted)



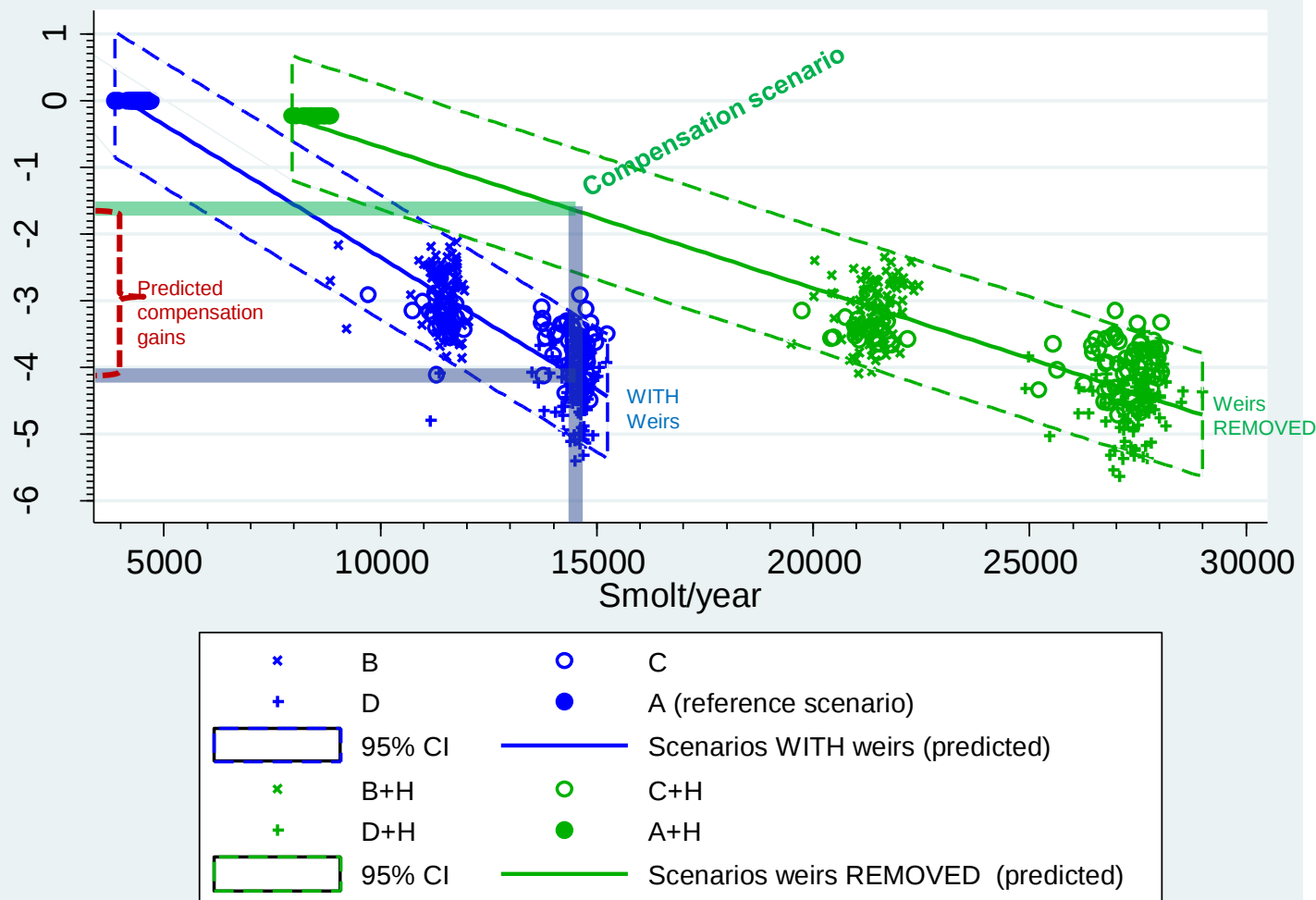
W: winter discharge (m³/s), Spring: extra spill released depending on the inflow during smolt migration period, S: summer discharge (m³/s).

Sammenligning av scenarier med og uten terskler ved ulike vannføringer I



Hva er kostnads-effektiv vannføring med og uten terskler?

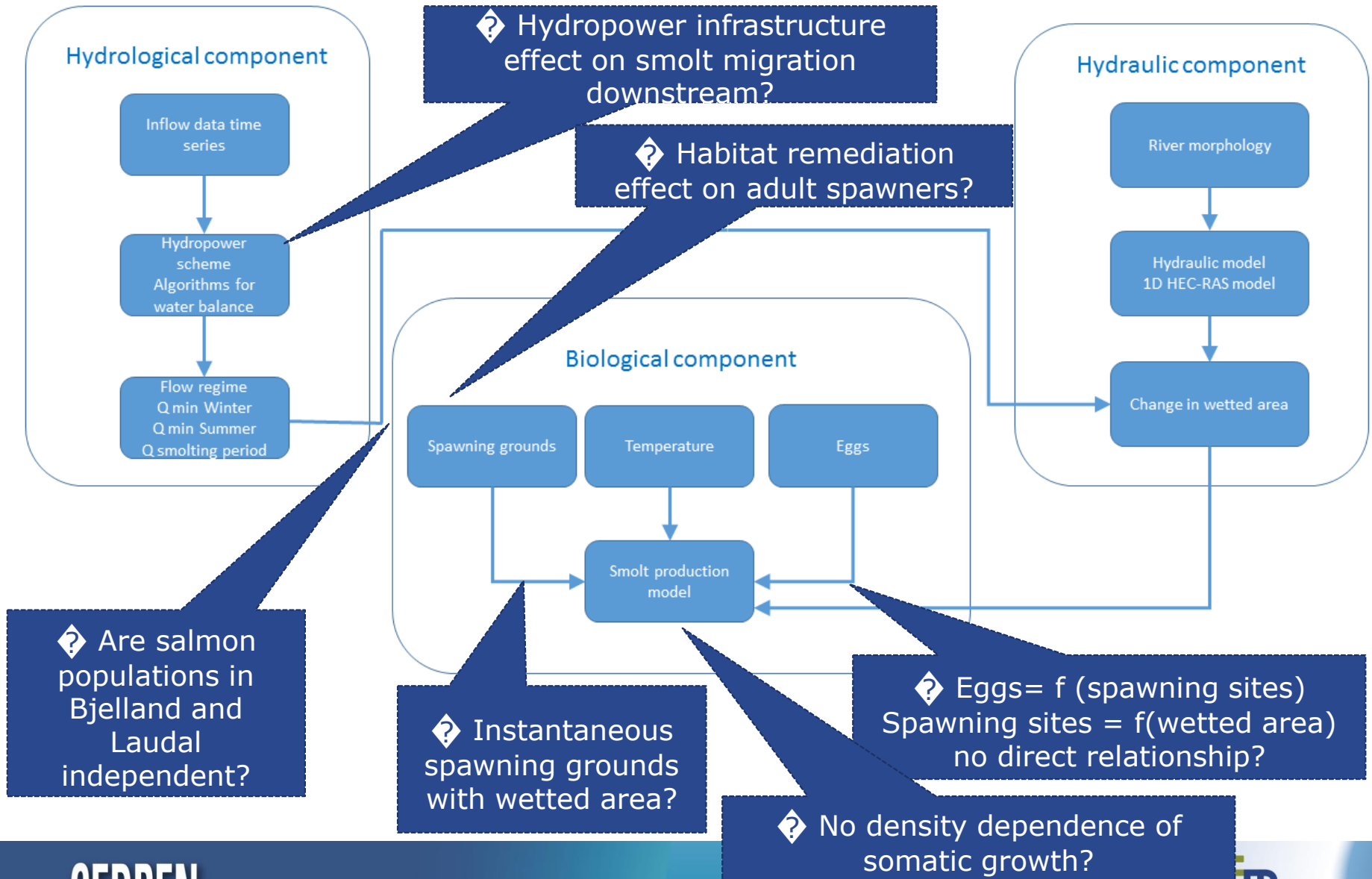
Sammenligning av scenarier med og uten terskler ved ulike vannføringer II



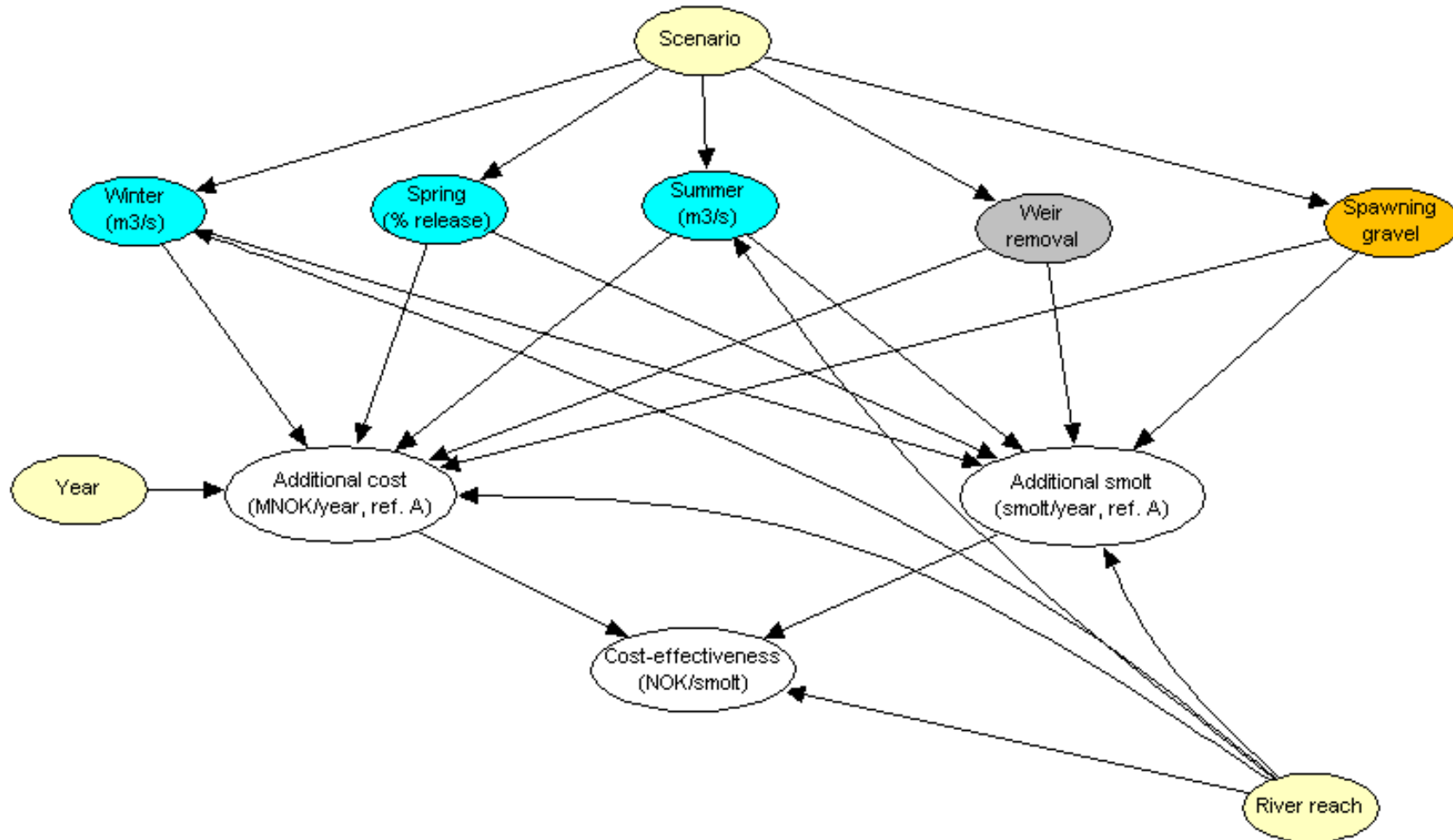
**Kostnads-
effektiv
vannføring
uten
terskler
ligger
mellom
regime A
og B**

Uncertainties in IBSalmon

Source: Hedger et al. 2015(in progress)



Metode-utvikling: Kostnadseffektivitetsanalyse med en nettverksmodell



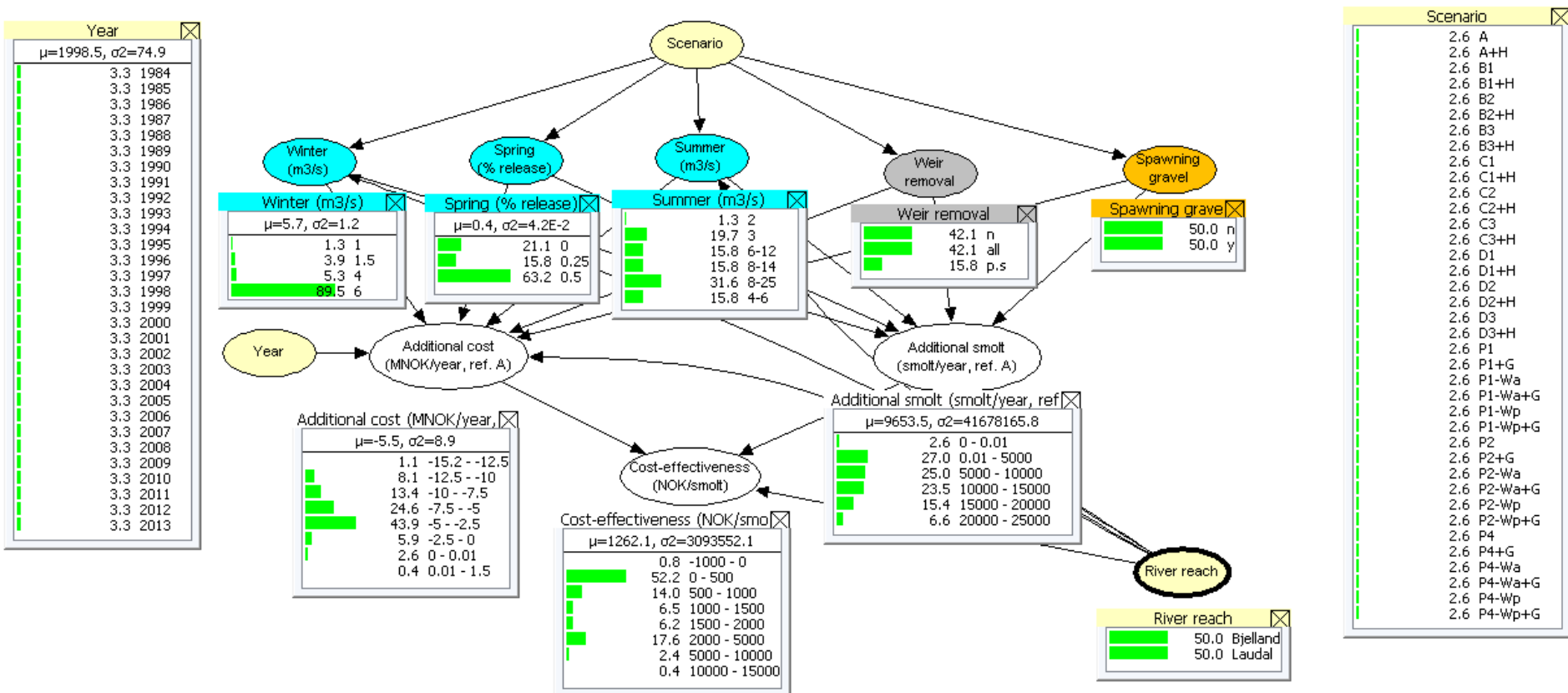
Ytterligere scenarier simulert i EcoManage

Benevnelse i
modellen:

Scenario	Winter discharge (m3/s)	Spring release (m3/s) §	Summer discharge (m3/s)	Habitat modification	
				Weir removal (W)	Spawning gravel addition (G)
A – voluntary release	1.5 (1*)	0%	3.0 (2*)	+H: all weirs	yes
B - intermediate	4.0	0%,25%,50%	6.0-12.0	+H: all weirs	yes
C - intermediate	6.0	0%,25%,50%	8.0-14.0	+H: all weirs	yes
D – NVE regime	6.0	0%,25%,50%	8.0-25.0	+H: all weirs	yes
P1 – photoscenario	6.0	50%	3.0	Wa: all, Wp: weirs 5-8	+G: yes / no
P2 - photoscenario	6.0	50%	4.0-6.0 (6)	Wa: all, Wp: weirs 5-8	+G: yes / no
P3 - intermediate	6.0	50%	8.0-14.0	Wa: all, Wp: weirs 5-8	+G: yes / no
P4 - photoscenario	6.0	50%	8.0-25.0 (15)	Wa: all, Wp: weirs 5-8	+G: yes / no

Scenario
2.6 A
2.6 A+H
2.6 B1
2.6 B1+H
2.6 B2
2.6 B2+H
2.6 B3
2.6 B3+H
2.6 C1
2.6 C1+H
2.6 C2
2.6 C2+H
2.6 C3
2.6 C3+H
2.6 D1
2.6 D1+H
2.6 D2
2.6 D2+H
2.6 D3
2.6 D3+H
2.6 P1
2.6 P1+G
2.6 P1-Wa
2.6 P1-Wa+G
2.6 P1-Wp
2.6 P1-Wp+G
2.6 P2
2.6 P2+G
2.6 P2-Wa
2.6 P2-Wa+G
2.6 P2-Wp
2.6 P2-Wp+G
2.6 P4
2.6 P4+G
2.6 P4-Wa
2.6 P4-Wa+G
2.6 P4-Wp
2.6 P4-Wp+G

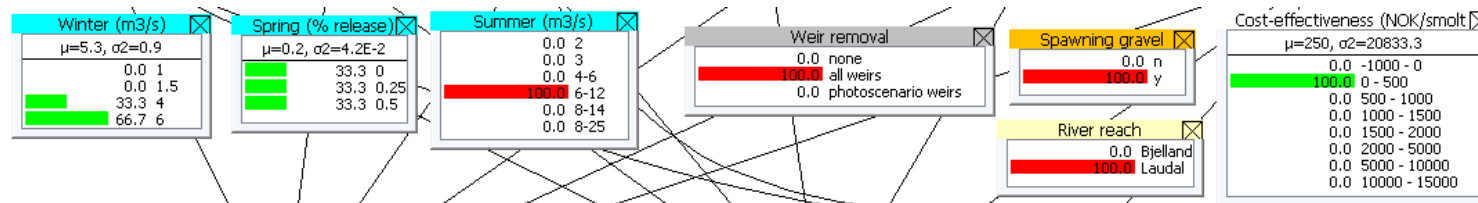
CEDREN



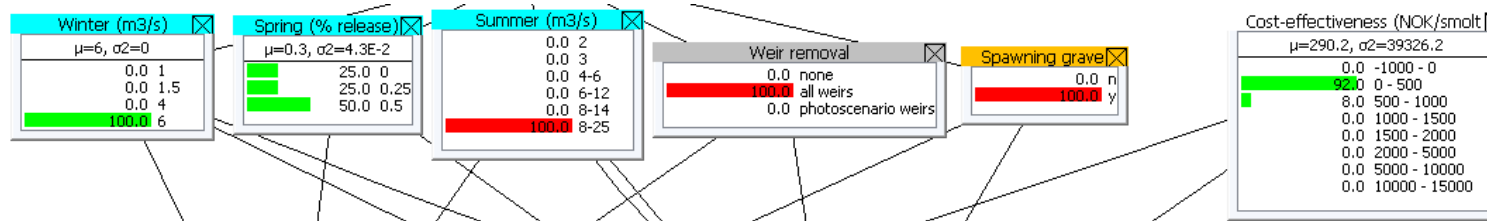
RESULTATER I: Kostnadseffektivitet av ulike vannføringsregimer sommer, Laudal (gitt habitattiltak)

Konklusjon: sommer 6-12m3/s kan være mer kostnadseffektivt enn både 3 m3/s og 8-25 m3/s

B+H:
6-12m3/s

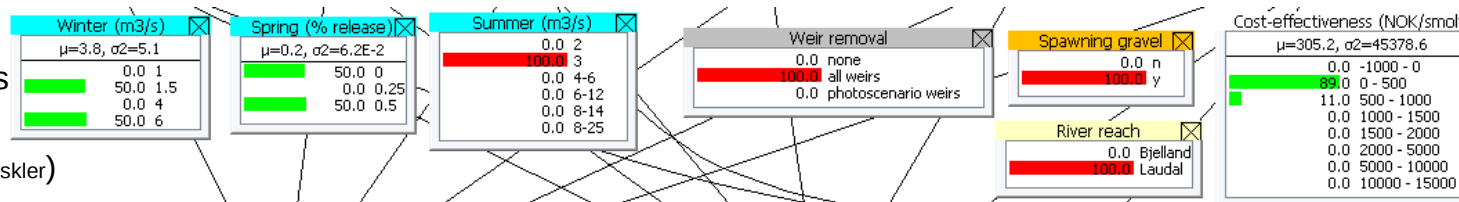


D+H:
8-25m3/s



≈ differanse
-55 NOK/smolt

A+H: 3 m3/s
(før
prøveregime
med fjerning av terskler)



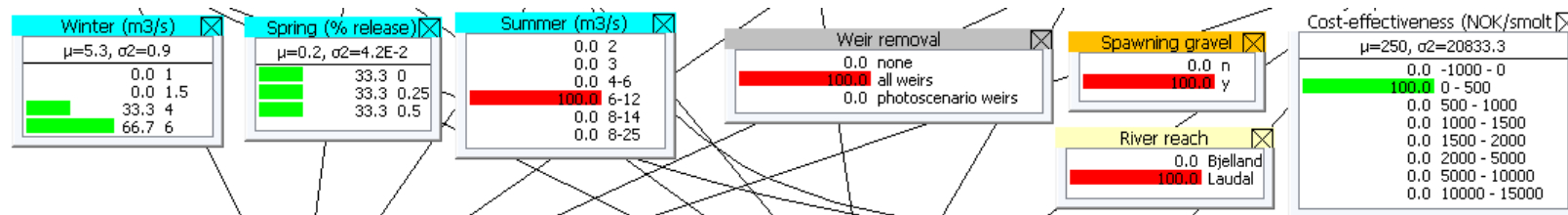
≈ differanse
-15 NOK/smolt

RESULTATER II:

Kostnadseffektivitet av ulike vannføringsregimer sommer, Laudal (gitt habitat-tiltak)

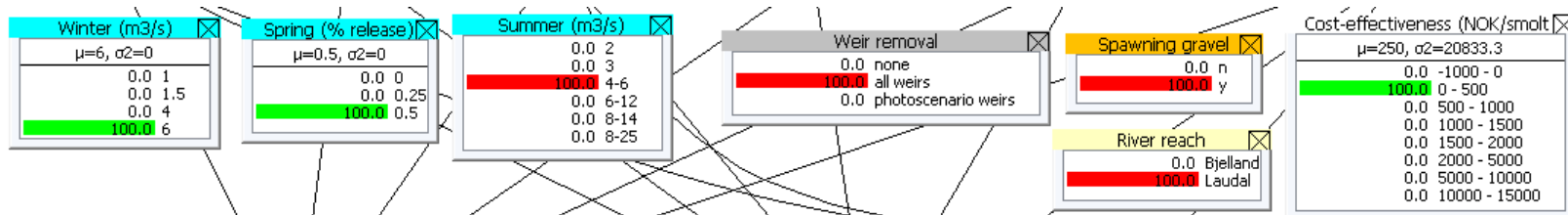
Konklusjon: sommer 6-12m³/s kan være like kostnadseffektivt som 4-6m³/s, hva som er best avhenger av minstekrav til smoltproduksjon og maks. aksept av kostnader, og muligens andre bruker-interesser.

B+H:
6-12m³/s



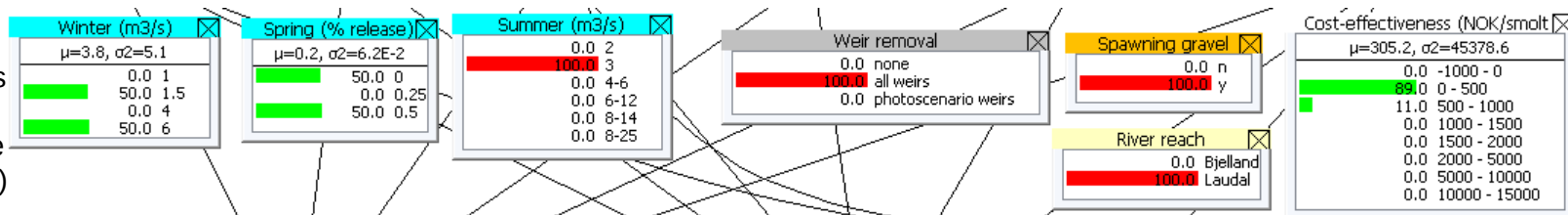
≈ ingen synlig
differanse

P2-Wa+G:
4-6m³/s



≈ differanse
55 NOK/smolt

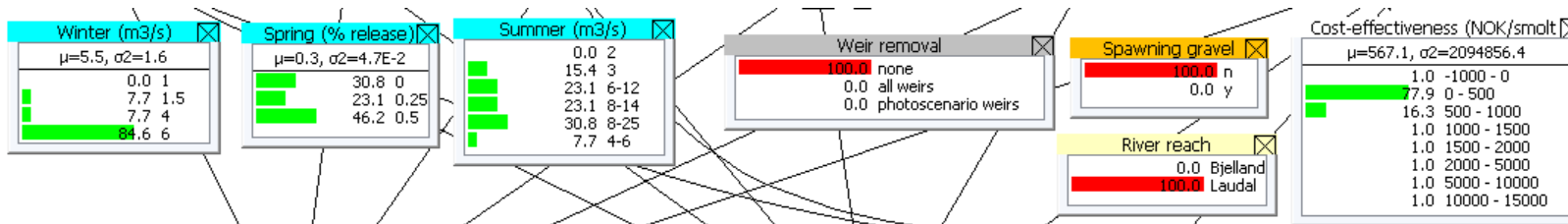
A+H: 3 m³/s
(før
Prøveregime
Med fjerning)



RESULTATER III:

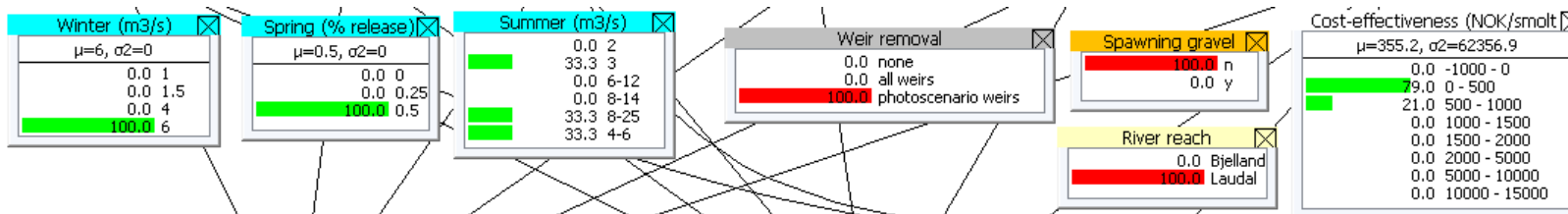
Kostnadseffektivitet av fjerning av terskler, Laudal (på tvers av ulike vannførings-scenarier)

MED terskler #1-8:



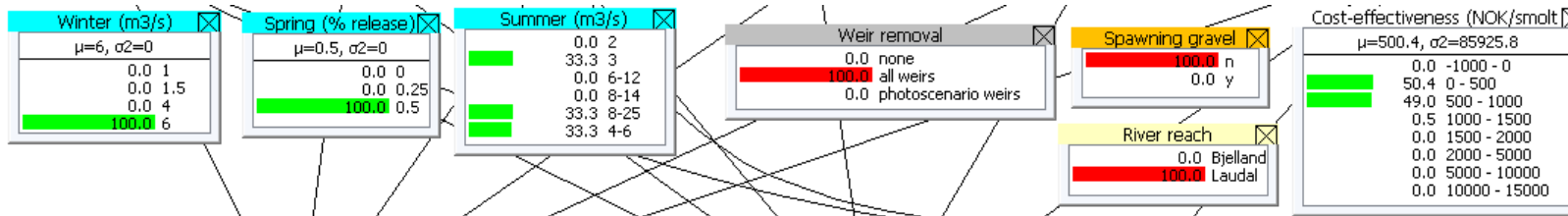
≈ Differanse
210 NOK/smolt

UTEN terskler # 3,4,5,8 :



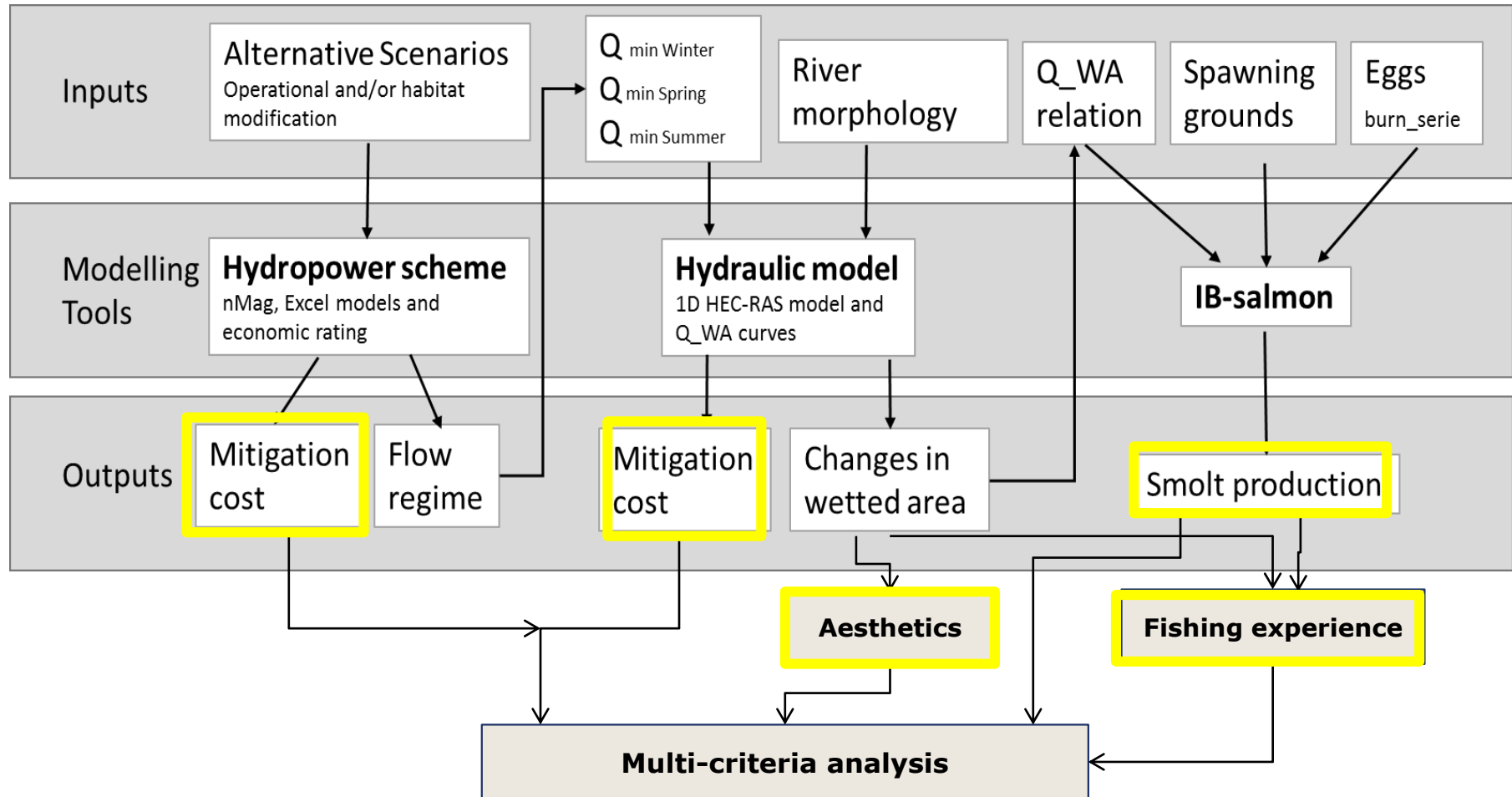
≈ Differanse
70 NOK/smolt

UTEN terskler # 1-8 :



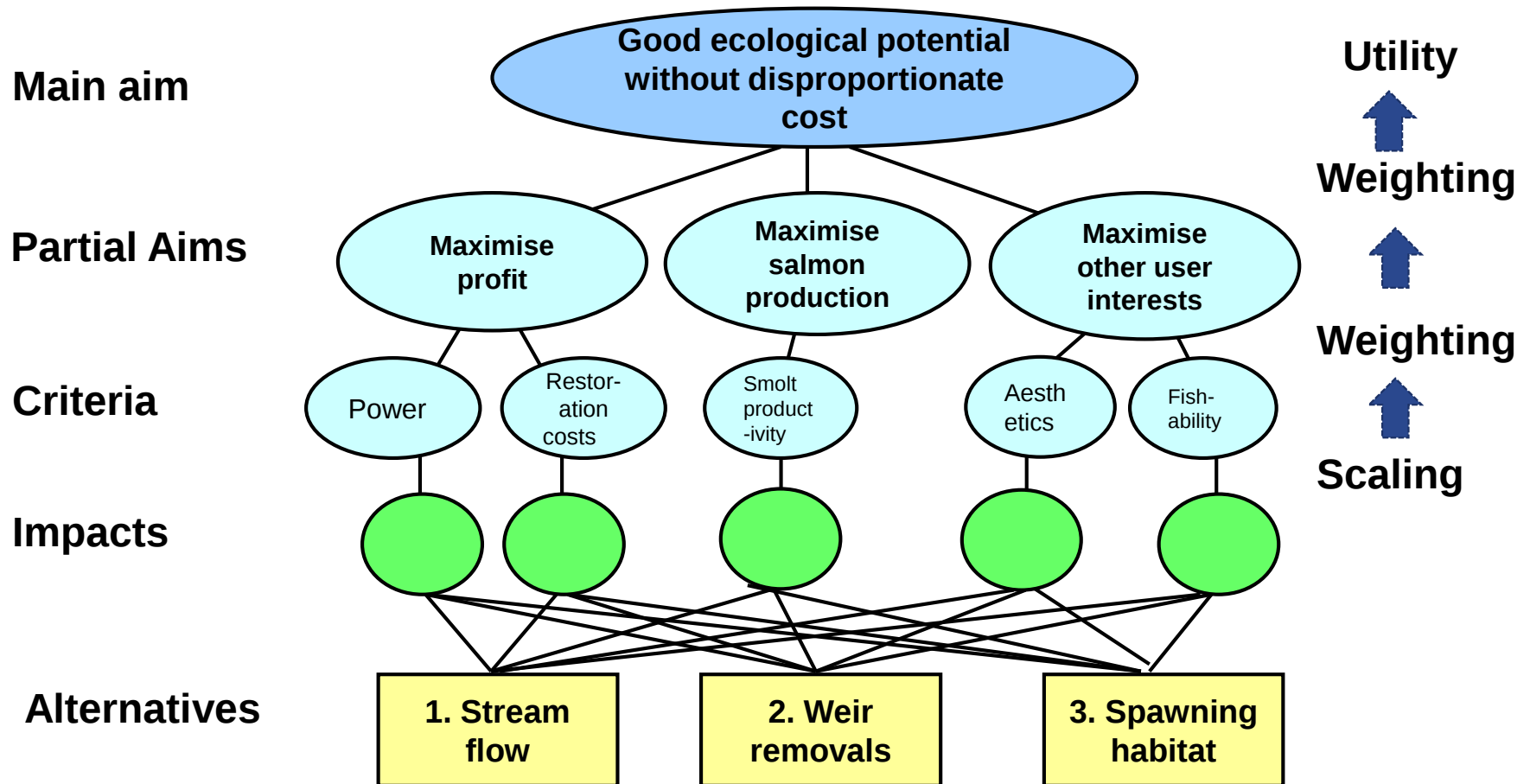
Konklusjon:
Fjerning av
terskler 3,4,5,8
kan være mer
kostnads-
effektivt enn
fjerning av
terskler 1,2,6,7

Utvide fra kostnadseffektivitet til multi-kriterie analyse...

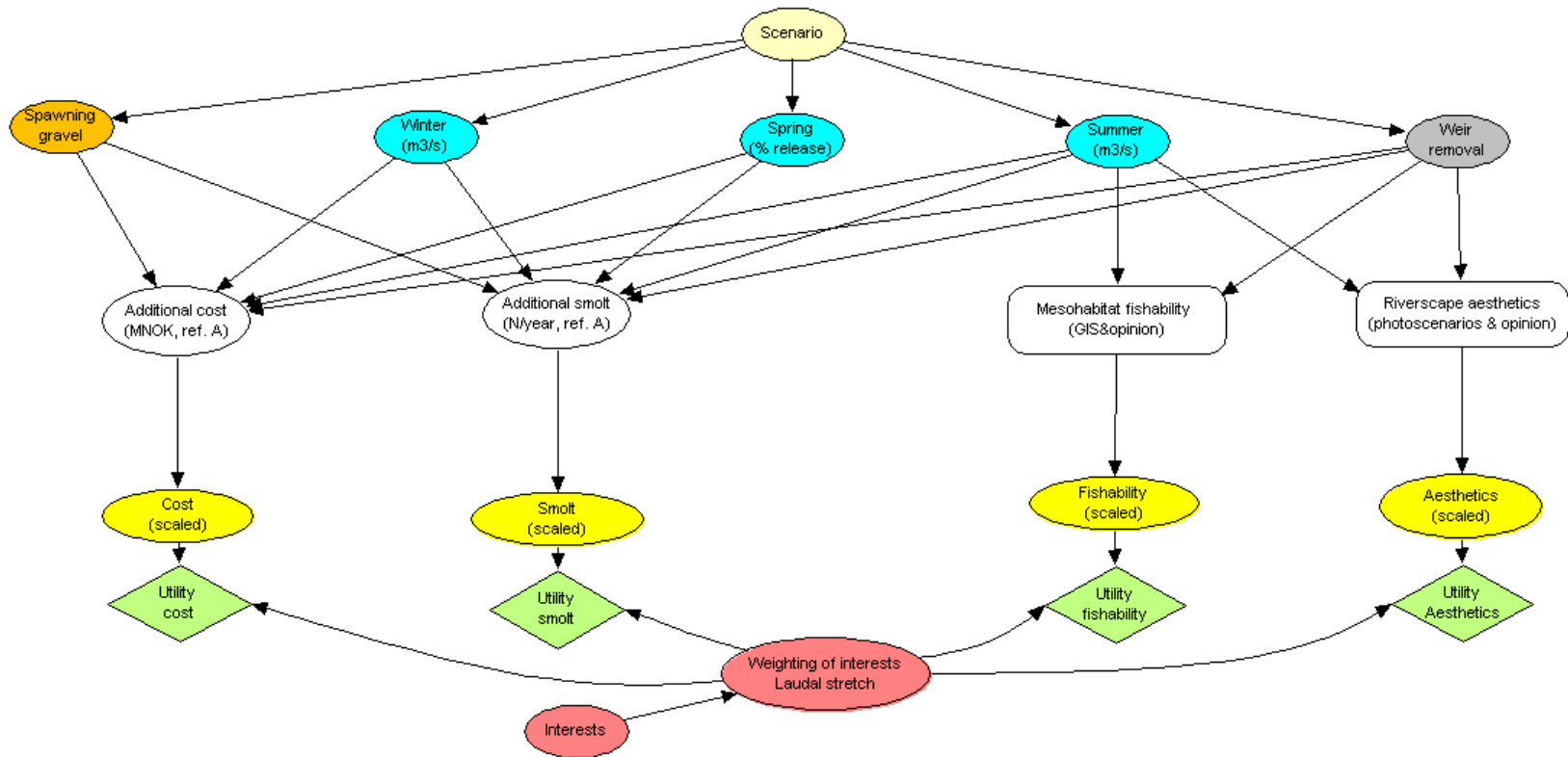


Source: adapted from Bustos et al. (in prep)

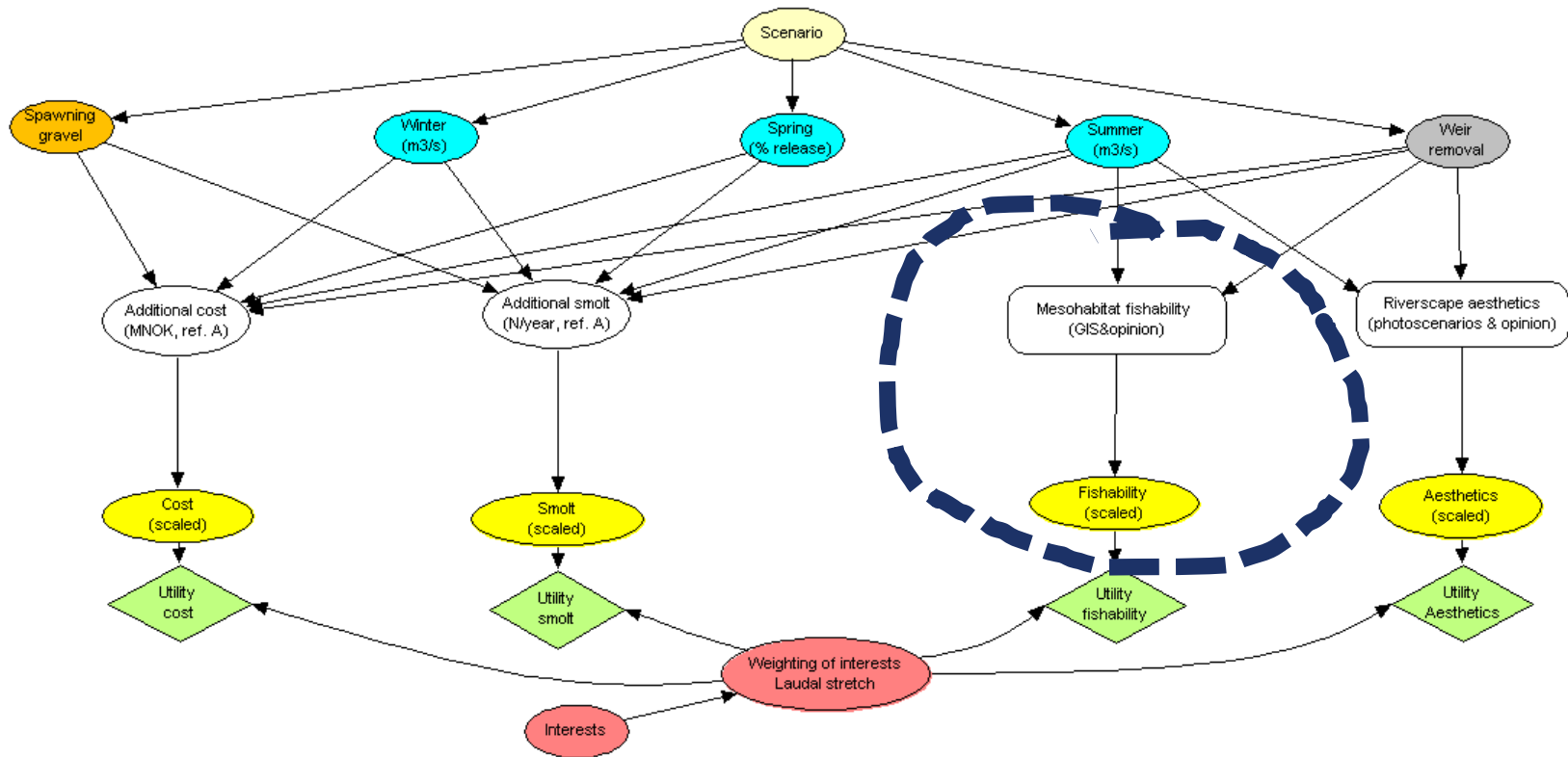
Multi-criteria decision analysis concept



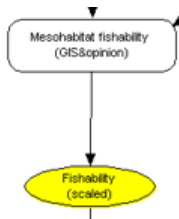
MKA av beslutning om å fjerne terskler 3,4,5,8 i Laudal



MKA av beslutning om å fjerne terskler 3,4,5,8 i Laudal – MESOHABITAT EGNETHET FOR LAKSEFISKE



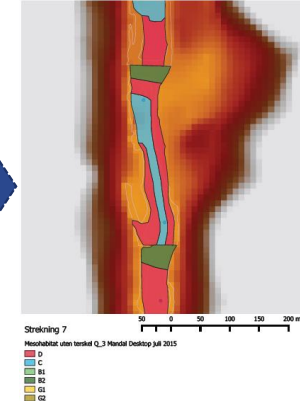
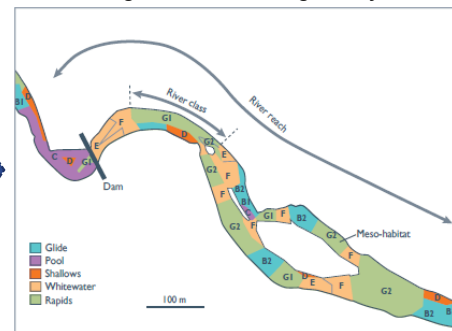
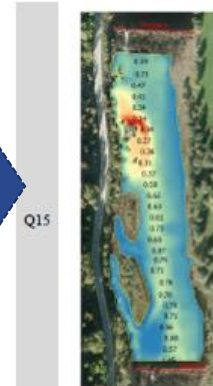
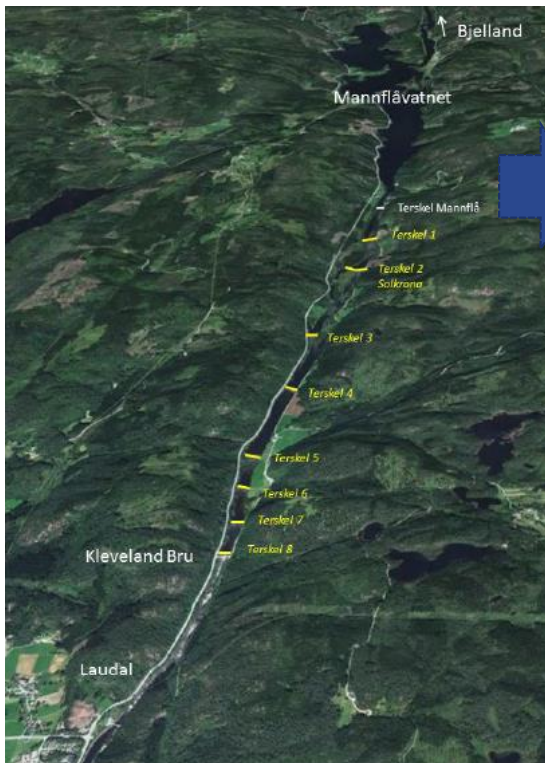
GIS vurdering av endring i mesohabitat fordeling ved fjerning av terskler #1,3,4,5,6,7,8



Hydraulisk modellering

Klassifisering etter Forseth og Harby Håndbok 053

GIS arealberegninger mesohabitat



Summering av endringer i mesohabitat

Q 3 uten terskel	Q 6 uten terskel	Q 15 uten terskel	Q 3 med terskel	Q 6 med terskel	Q 15 med terskel	Laudal Alle (1,3,4,5,6,7,8) Mesohabitat	Q 3 endring	Q 6 endring	Q 15 endring
2 %	6 %	8 %	0 %	0 %	5 %	B1	2 %	6 %	3 %
10 %	18 %	31 %	1 %	1 %	1 %	B2	9 %	17 %	30 %
39 %	39 %	38 %	67 %	67 %	63 %	C	-28 %	-28 %	-25 %
49 %	37 %	18 %	26 %	25 %	21 %	D	23 %	12 %	-3 %
0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %	G1	0 %	0 %	-5 %
0 %	0 %	5 %	6 %	7 %	4 %	G2	-6 %	-7 %	1 %
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %				

Kilde: Fjellstad et al. 2014

Kilde: Hans-Petter Fjellstad og Håkon Sundt

Mesohabitat betydning for fiske-opplevelse

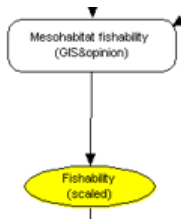


Table I: Classification decision tree

Criteria	Surface pattern	Surface gradient	Surface velocity	Water depth	Code	Description
Decision	Smooth / rippled	steep	fast	deep	A	Run
		moderate	fast	deep	B1	Deep glide
				shallow	B2	Shallow glide
	broken / unbroken standing waves	moderate	slow	deep	C	Pool
				shallow	D	Walk
		steep	fast	deep	E	Rapid
				shallow	F	Cascade
		moderate	fast	deep	G1	Deep splash
				shallow	G2	Shallow splash
		slow				
				shallow	H	Rill

- Surface gradient steep > 0,4 %
- Surface velocity fast > 0,5 m/s
- Water depth deep > 0,7 m



	Samlet ekspert-vurdering av verdi av hvert meso habitat
B1	0.9-1.0
B2	0.5-0.6
C	0.5-0.6
D	0-0.1
G1	0.3-0.4
G2	0.3-0.7

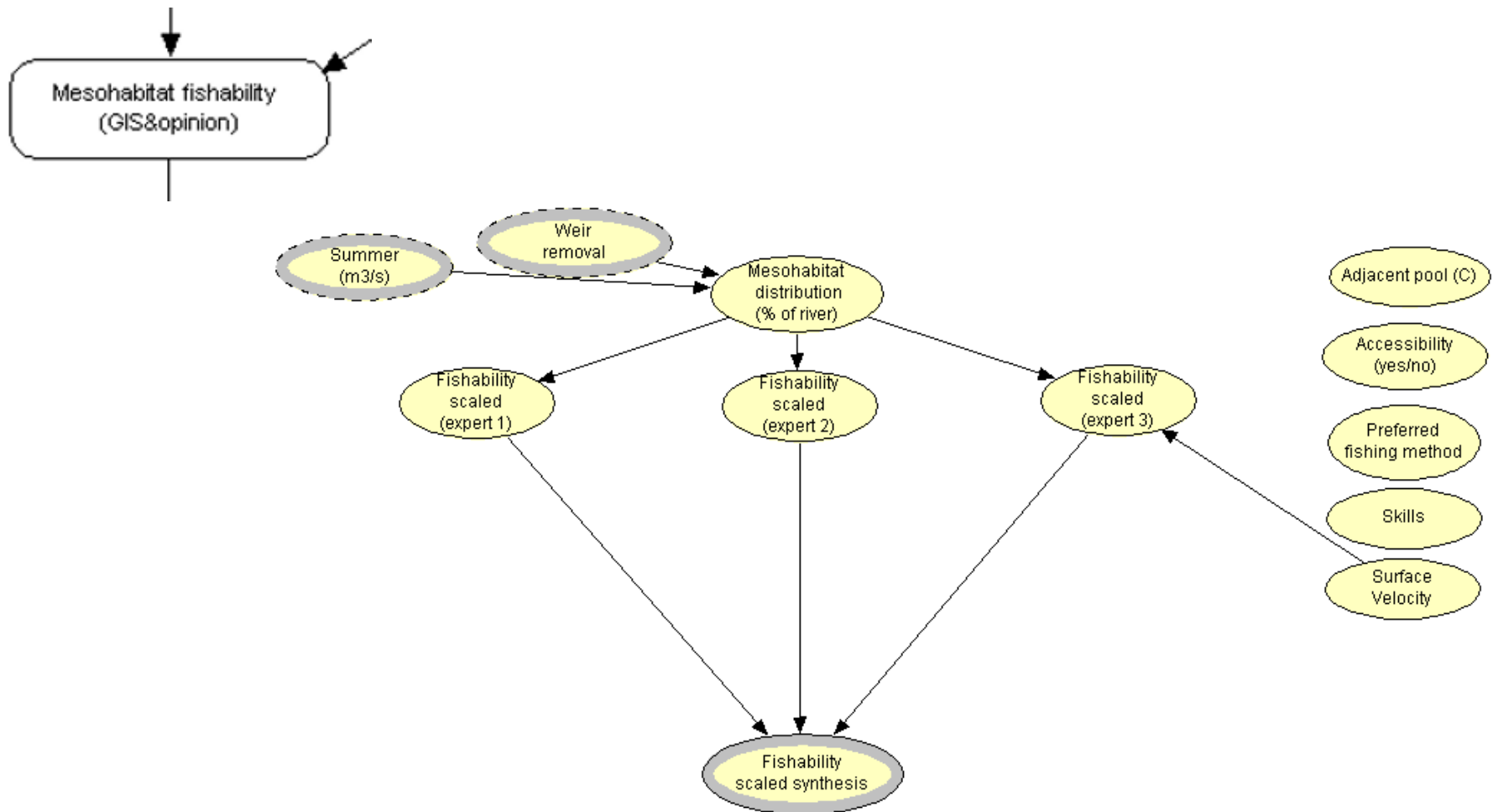
X

Laudal foto-strekninger (strekninger 3,4,5,8)

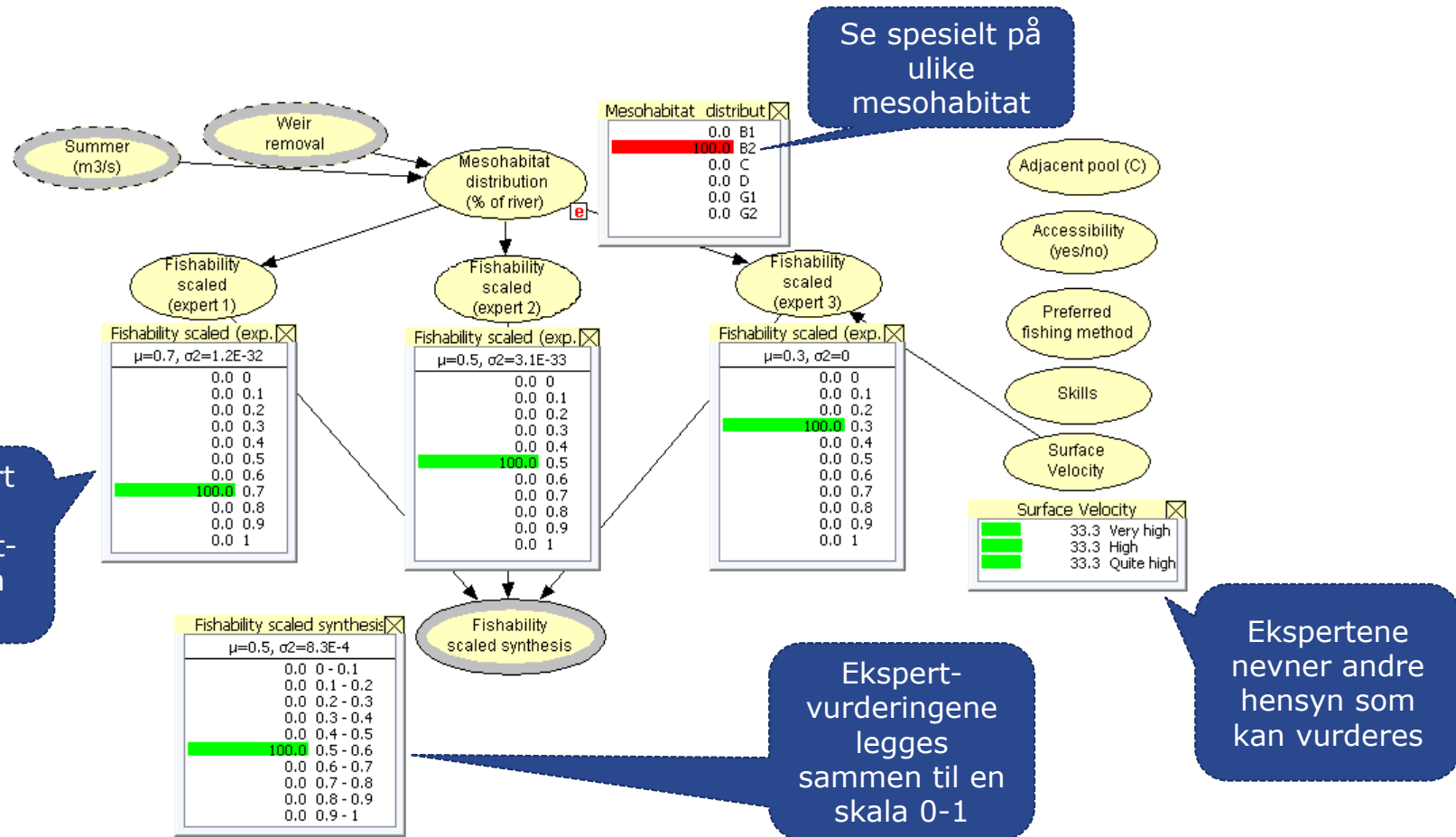
Laudal foto (3,4,5,8) Mesohabitat	Q 3 endring	Q 6 endring	Q 15 endring
B1	1 %	2 %	3 %
B2	7 %	13 %	24 %
C	-28 %	-26 %	-25 %
D	23 %	16 %	0 %
G1	0 %	0 %	-5 %
G2	-5 %	-5 %	2 %

Konklusjon Laudal: Mer av attraktive habitat B1 og middels attraktiv B2, men også mindre middels attraktiv habitat C, og mer av lite attraktivt habitat D. Neto-effekten på arealer er noe uklar, men det blir noe mer av de beste mesohabitatene (B1). Spørsmål om beste habitat skal vektes enda sterkere i forhold til andre.

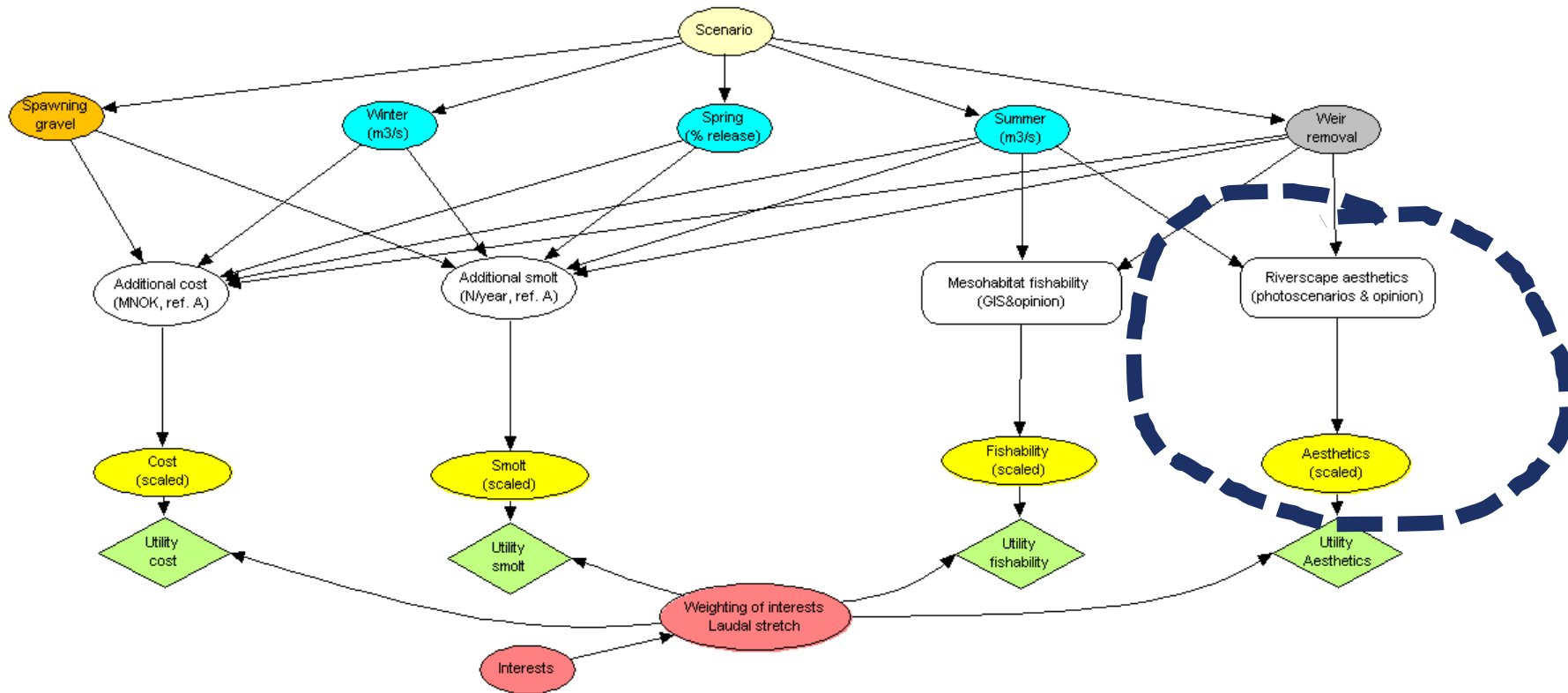
Sub-modell: Mesohabitat endringer og egnethet for laksefiske I



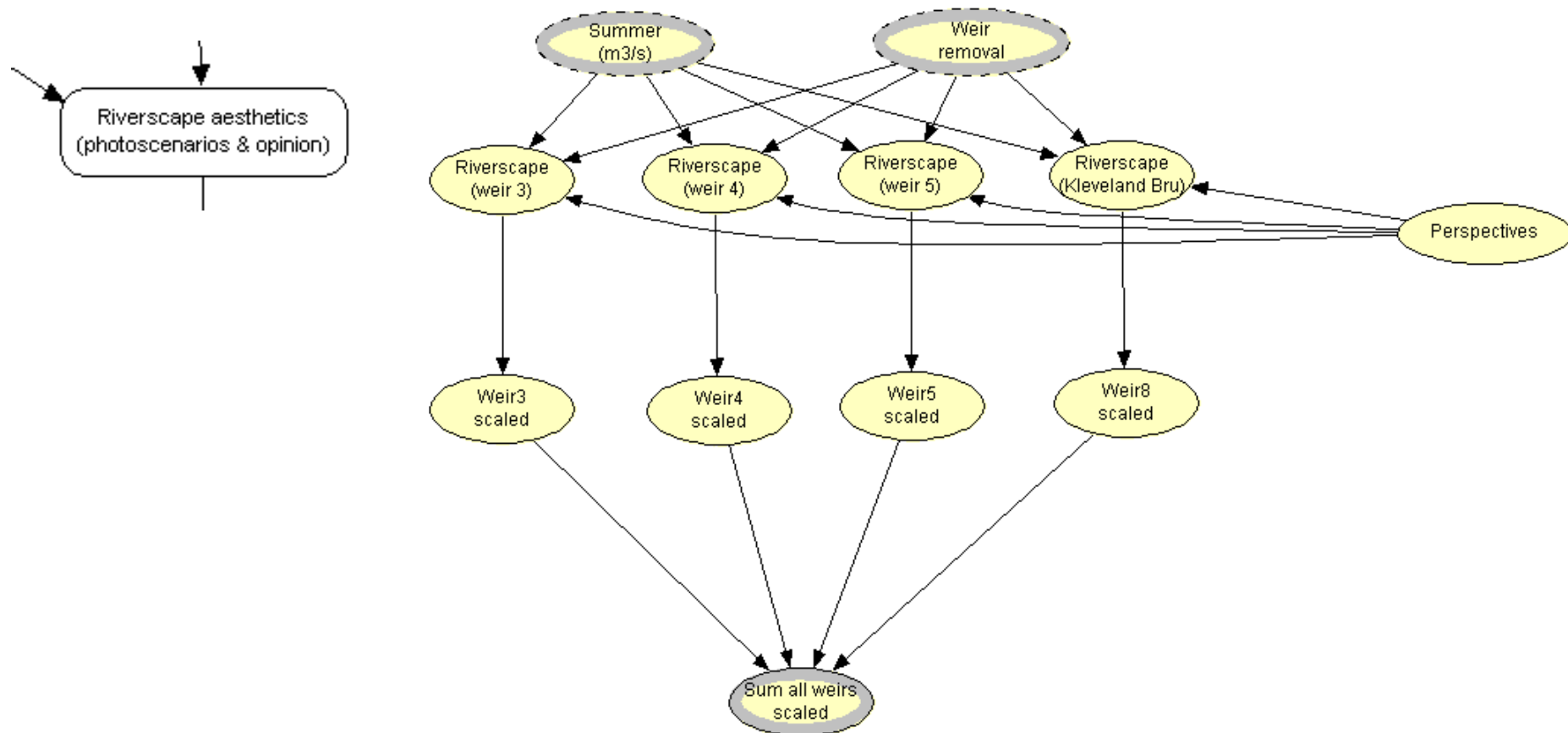
Sub-modell: Mesohabitat endringer og egnethet for laksefiske II



MKA av beslutning om å fjerne terskler 3,4,5,8 i Laudal – ELVE-LANDSKAPS-ESTETIKK



Sub-modell - Konsekvensvurdering av estetikk i fotoscenarier



Alle fotoscenariene

Fossekilen weir

weir 3

weir 4

weir 5

Klevland bru weir 8

original
6 m³/s*



w/o weir
6 m³/s



w/o weir
3 m³/s



w/o weir
15 m³/s



* The original discharge
was 2 m³/s;

SPØRREUNDERSØKELSE OM FOTOSCENARIER

Q: Place an [X] in the alternative that corresponds to your preference for each scenario relative to the «original» situation (first picture). You can inspect pictures in more detail in the 3 following slides and answer the questions there if your prefer.

Weir 5

original
6 m³/s*



w/o weir
6 m³/s



w/o weir
3 m³/s



w/o weir
15 m³/s



Is the river appearance without the weir in your opinion....

[X]better, [] equivalent or [] worse than «original» situation ?

[] better, **[X] equivalent** or [] worse than «original» situation ?

[X]better, [] equivalent or [] worse than «original» situation ?

Kilde: Berit Köhler, Hans-Petter Fjelstad, Bjørn Dervo

Vurdering - fotoscenarier

original
6 m³/s*



w/o weir
6 m³/s



☒ better, ☐ equivalent or ☐ worse than «original» situation ?

På tvers av mange subjekter får vi sannsynlighetsfordelinger om hva som er «estetisk»

Riverscape (weir 5) Weir removal												
Perspectives	Haugland - Agder Energi						All respondents					
Weir removal	none			weirs photo			none			weirs photo		
Summer (m3/s)	3	6	15	3	6	15	3	6	15	3	6	15
better												
equivalent												
worse												

w/o weir
3 m³/s



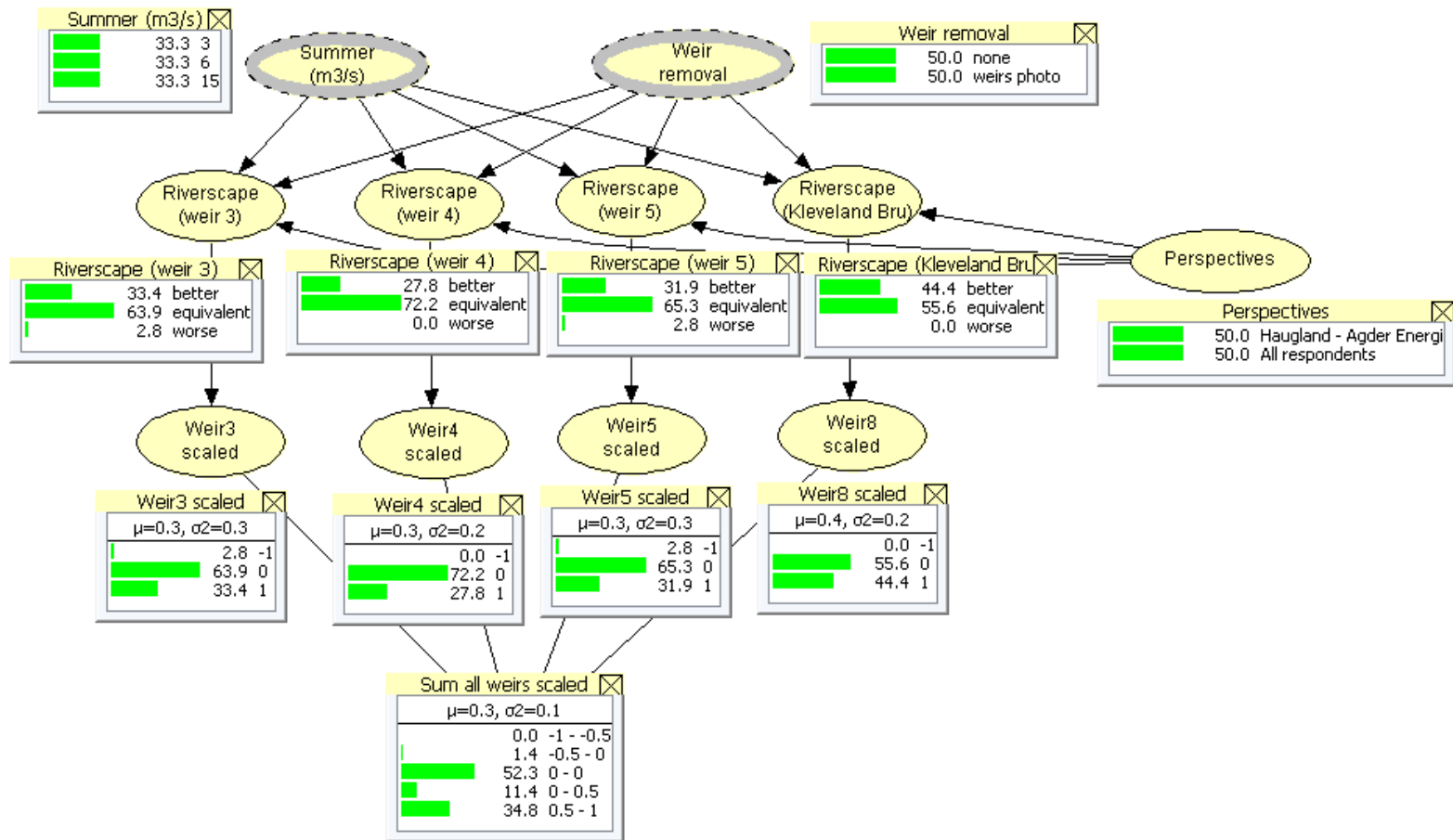
☐ better, ☒ equivalent or ☐ worse than «original» situation ?

w/o weir
15 m³/s



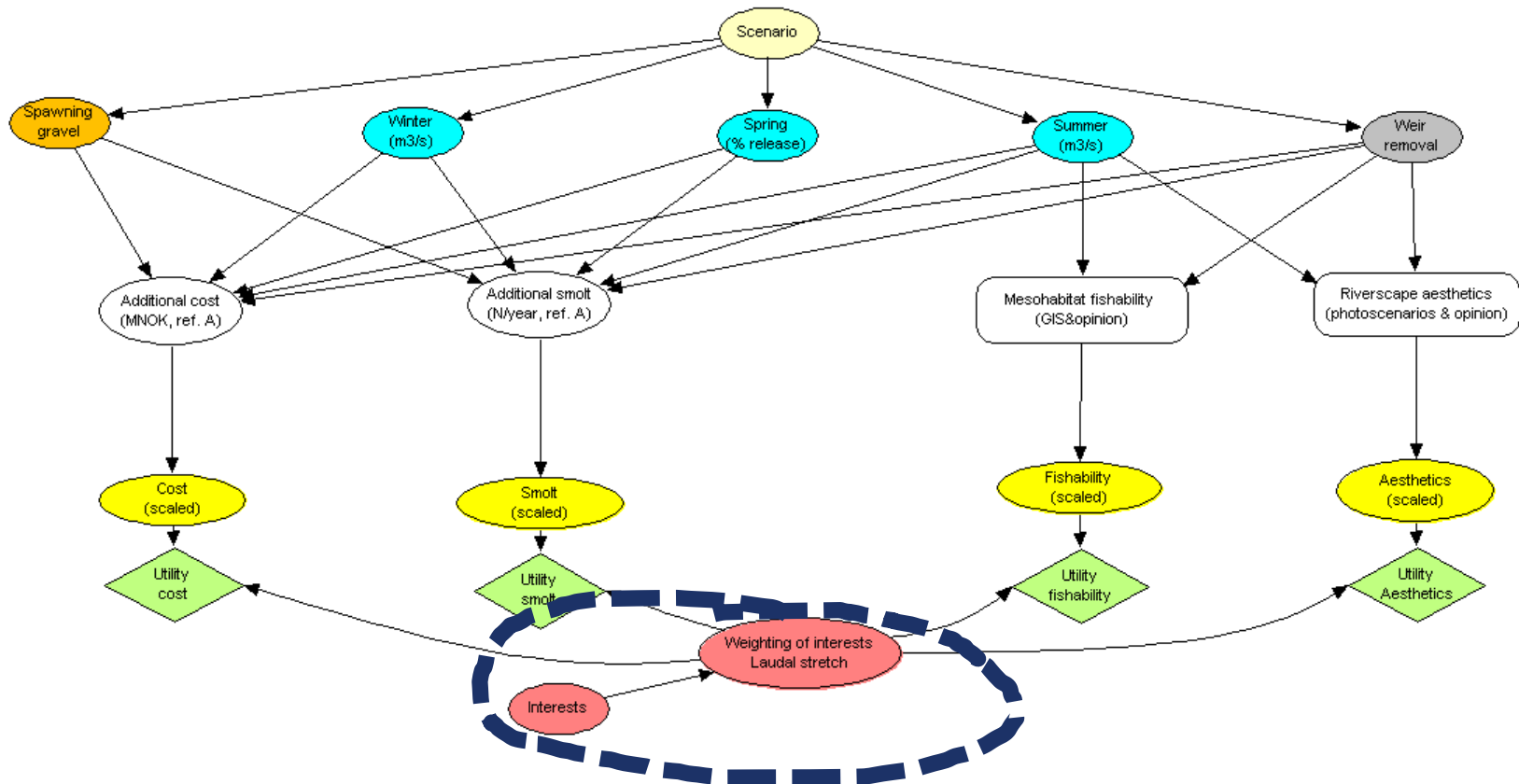
☒ better, ☐ equivalent or ☐ worse than «original» situation ?

Konsekvensvurdering av estetikk i fotoscenarier



OBS! I MKA-modellen er 4 terskler vurdert – hver teller 1/4-del i totalutfallet for estetiske effekter av terskler. Konsekvens - selv når en grunneier i Laudal vokter én terskel høyt vil endringen i hver

MKA av beslutning om å fjerne 4 terskler i Laudal – INTERESSER (ØKOSYSTEMTJENESTER)



Bruker-interesser - vekting

	Agder Energi	Fiskere	Grunneier Bjelland	Grunneier Laudal	NVE	Kommunen
<u>kostnader ved kraft-tap («cost»)</u>	[1]	[0]	[0]	[0]	[0,75]	[0,25]
<u>smoltproduktivitet («smolt»)</u> ,	[0,75]	[0,75]	[0,25]	[0,25]	[1]	[1]
<u>fiskepotensiale («fishability»)</u>	[0,5]	1	[0,25]	[0,75]	[0,5]	[0,75]
<u>elve-estetikk («aesthetics»)</u>	[0,25]	[0,5]	0,5	[1]	[0,25]	[0,5]

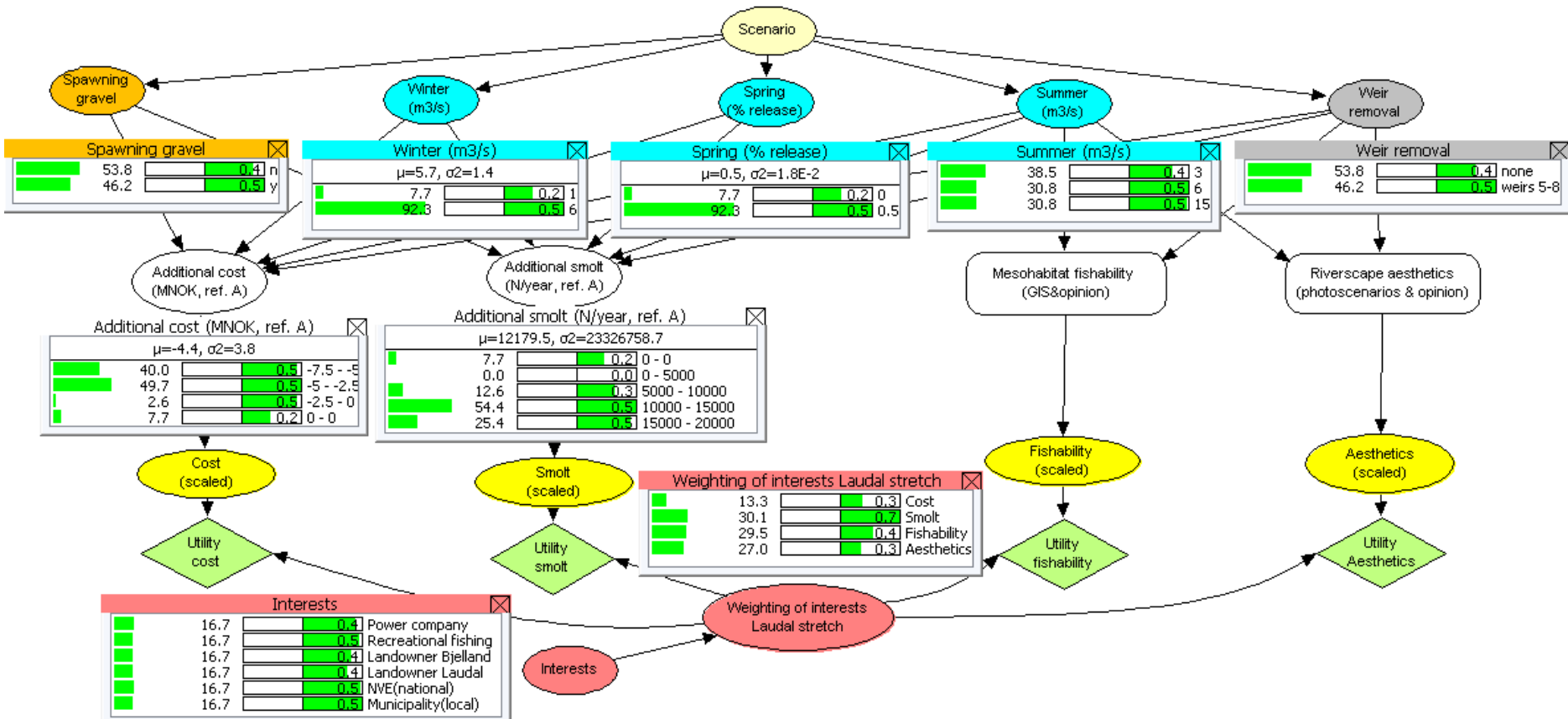
«Eksempeltall» fra Svein Haugland



Weighting of interests Laudal stretch						
Interests						
Interests	Power company	Recreational fishing	Landowner Bjelland	Landowner Laudal	NVE	Kommune
Cost	0.4	0	0	0	0.3	0.1
Smolt	0.3	0.333333	0.25	0.125	0.4	0.4
Fishability	0.2	0.444444	0.25	0.375	0.2	0.3
Aesthetics	0.1	0.222222	0.5	0.5	0.1	0.2

Alle vekter blir regnet om til relative vekter (summerer til 1 for hver interesse – dvs. alle interessenter er like viktige).

DEMO HUGIN: MKA



Oppsummering konklusjoner fra MKA-ekstreme kriterier

Kriterie-vekt

Fjerne terskler

Sommer vannføring

Gytegrus

Kostnader

Weighting of interests Laidal stretch			
100.0	0.3	*Cost	
0.0	0.00	Smolt	
0.0	0.00	Fishability	
0.0	0.00	Aesthetics	

Weir removal			
53.8	0.3	none	
46.2	0.2	weirs 5-8	

Summer (m3/s)			
38.5	0.4	3	
30.8	0.4	6	
30.8	9.7E-2	15	

Spawning gravel			
53.8	0.3	n	
46.2	0.2	y	

Anbefaling: ikke fjern terskler; sommervannføring 3-6 m3/s , ikke legg ut gytegrus

Smolt

Weighting of interests Laidal stretch			
0.0	0.00	Cost	
100.0	0.2	*Smolt	
0.0	0.00	Fishability	
0.0	0.00	Aesthetics	

Weir removal			
53.8	0.7	none	
46.2	0.8	weirs 5-8	

Summer (m3/s)			
38.5	0.6	3	
30.8	0.8	6	
30.8	0.8	15	

Spawning gravel			
53.8	0.6	n	
46.2	0.8	y	

Anbefaling: fjern terskler; sommervannføring 15 m3/s , legg ut gytegrus

Mesohabitat for laksefiske

Weighting of interests Laidal stretch			
0.0	0.00	Cost	
0.0	0.00	Smolt	
100.0	0.4	*Fishability	
0.0	0.00	Aesthetics	

Weir removal			
53.8	0.4	none	
46.2	0.4	weirs 5-8	

Summer (m3/s)			
38.5	0.4	3	
30.8	0.4	6	
30.8	0.5	15	

Spawning gravel			
53.8	0.4	n	
46.2	0.4	y	

Anbefaling: fjerning terskler likegyldig; sommervannføring 15 m3/s , legg ut gytegrus likegyldig

Estetikk elv

Weighting of interests Laidal stretch			
0.0	0.00	Cost	
0.0	0.00	Smolt	
0.0	0.00	Fishability	
100.0	0.3	*Aesthetic	

Weir removal			
53.8	0.0	none	
46.2	0.6	weirs 5-8	

Summer (m3/s)			
38.5	9.5E-2	3	
30.8	0.4	6	
30.8	0.4	15	

Spawning gravel			
53.8	0.2	n	
46.2	0.3	y	

Anbefaling: fjerning terskler; sommervannføring 6-15 m3/s , legg ut gytegrus er nesten likegyldig

Oppsummering konklusjoner fra MKA - interesser

Kriterie-vekt

Weighting of interests Laudal stretch				
	13.3		0.3	Cost
	30.1		0.7	Smolt
	29.5		0.4	Fishability
	27.0		0.3	Aesthetics

Smolt har størst påvirkning på totalnytte sett på tvers av alle løsninger og interesser

Interests				
	16.7		0.4	Power company
	16.7		0.5	Recreational fishing
	16.7		0.4	Landowner Bjelland
	16.7		0.4	Landowner Laudal
	16.7		0.5	NVE(national)
	16.7		0.5	Municipality(local)

Fritidsfiske, NVE og Kommune interesser har noe større påvirkning på totalnytte enn kraftselskap og grunneiere sett på tvers av alle vurderte løsninger og interesser

Fjerne terskler

Weir removal				
	53.8		0.4	none
	46.2		0.5	weirs 5-8

Sommer vannføring

Summer (m3/s)				
	38.5		0.4	3
	30.8		0.5	6
	30.8		0.5	15

Gytegrus

Spawning gravel				
	53.8		0.4	n
	46.2		0.5	y



Anbefaling på tvers av alle interesser:
fjern terskler;
sommervannføring 6-15 m3/s ,
legg ut gytegrus (men nesten likegyldig)

Oppsummering Ecomanage WP4

Kostnadseffektivitets- og multikriterie-analyser

- **MKA forskjell fra KEA:** med fiske-interesser og elve-estetikk fører til anbefaling om noe høyere sommer-vannføring enn KEA; begge anbefaler fjerning av terskler
- **MKA som faktisk beslutnings-støtte:** vanskelig å konsultere flere brukerinteresser i faktisk konsesjonsrevisjon.
- **Demonstrasjon av beslutningsstøtte-metode:** MKA kan gjennomføres i en Bayesiansk nettverksmodell – et strukturerende og fleksibelt diagnose-verktøy som kan avdekke informasjonsmangler ift. behov for beslutningsstøtte
- **Simulering i naturfaglige modeller:** sette IBSalmon istand til Monte Carlo Markov Chain simulering for å «finregne» på optimale vannføringer og usikkerhet
- **Kobling av modeller komplekst!!!** – viktig med kvalitets-sikring på tvers av fagfelt – BBN er et «røntgen apparat»

TAKK
FOR TÅLMODIGHETEN
OG
FOR SAMARBEIDET!

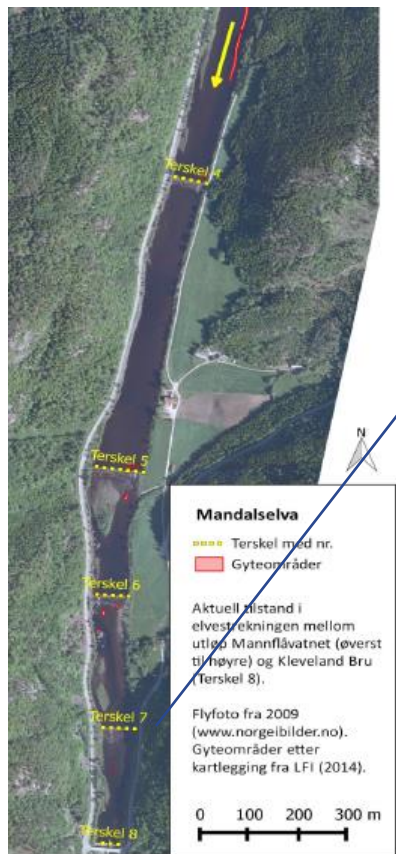
Ytterligere Konklusjoner

1. **Metoder på ulike nivåer** for vurdering av miljøkonsekvenser, kompensasjonsbehov og -kostnader:
 - Samlet konsekvens av inngrep - livssyklusanalyse (**LCA**)
 - Optimalisering av kompensasjonsalternativer ift miljømål
 - multi-kriterie-analyse (**MKA**)
2. **Kompensasjonstiltak** på tvers av lokaliteter endrer tolkingen av '**uforholdsmessige kostnader**' og godt økologisk potensiale under Vannforskriften

Fjerning terksel #7 (april 2015)

FØR

UNDER



Kilde: Fjellstad et al. 2014



ETTER

ETTER

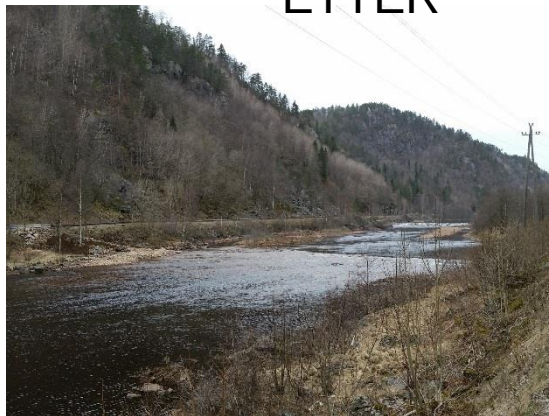
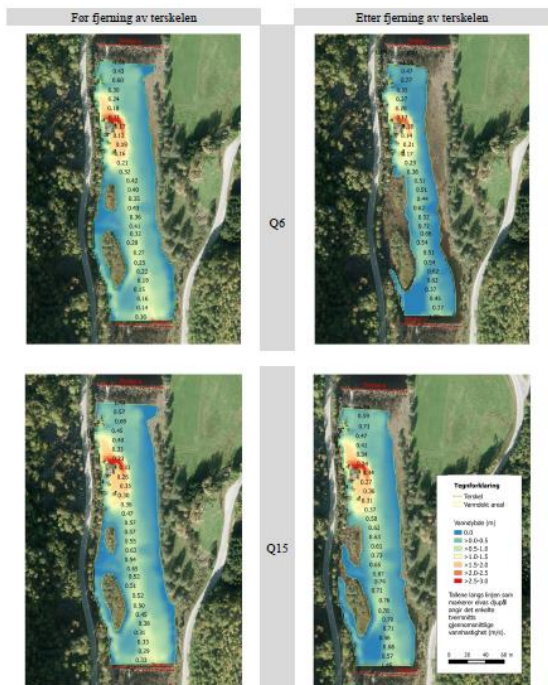


Foto: Agder Energi



Foto: Facebook Upper Mandal River

Vurdering av endring i mesohabitat – eksempel terskel 7



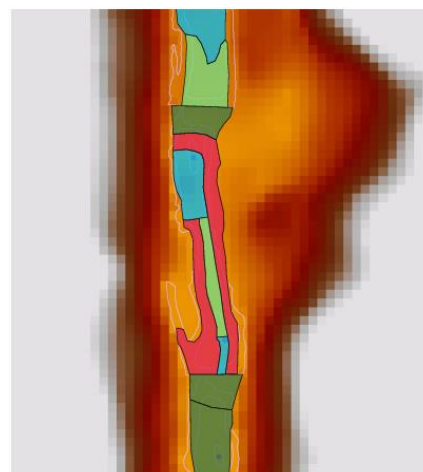
Figur 10. Strekning 7 – Vannhøy (se tegnforklaring), vanddekket areal og gjennomsnittlig vannhastighet (m/s angitt som tall på bildene) i hvert tverrsnitt for (venstre) og etter (høyre) fjerning av terskelen, for $Q = 6 m^3/s$ (oppe) og $Q = 15 m^3/s$ (nede).

Kilde: Fjellstad et al. 2014



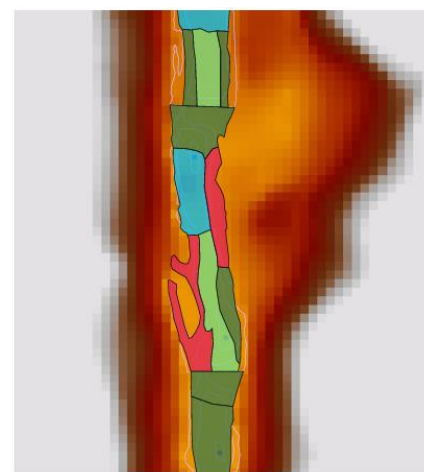
Strekning 7

Mesohabitat uten terskel Q_3 Mandal Desktop juli 2015



Strekning 7

Mesohabitat uten terskel Q_6 Mandal Desktop juli 2015



Strekning 7

Mesohabitat uten terskel Q_15 Mandal Desktop juli 2015



Kilde: Hans Petter Fjellstad og Håkon Sundt

Strekning 7	Q 3	Q 6	Q 15
Mesohabitat	endring	endring	endring
B1	0 %	11 %	7 %
B2	12 %	13 %	28 %
C	-7 %	-21 %	-7 %
D	-5 %	-4 %	-27 %
G1	0 %	0 %	0 %
G2	0 %	0 %	0 %

	Ekspertvurdering
B1	0.9-1.0
B2	0.5-0.6
C	0.5-0.6
D	0-0.1
G1	0.3-0.4
G2	0.3-0.7