

TR A7566 - Åpen

Rapport

Opprinnelsen til vannverdiberegningen

Forfatter(e)

Sverre Aam



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250

energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Opprinnelsen til vannverdiberegningen

EMNEORD:

Bellman
Driftsplanlegging
Energi
Kraftproduksjon
Kraftsystem
Marginalverdi
Planlegging
Stokastisk
Vannkraft
Vannverdi
Økonomi

VERSJON

1.0

DATO

2016-06-16

FORFATTER(E)

Sverre Aam

OPPDRAGSGIVER(E)

SINTEF Energi AS

OPPDRAGSGIVERS REF.

Knut Samdal

PROSJEKTNR

502001232

ANTALL SIDER

38

SAMMENDRAG

I rapporten beskrives hvilke personer og institusjoner som startet med utvikling av den mye anvendte vannverdiberegningen som brukes for optimal produksjonsplanlegging for vannkraftdominerte kraftsystem. Metoden brukes både for å planlegge systemutvidelser og for den løpende langsiktige driftsplanleggingen.

Pierre Massé, som seinere i livet ble styreleder i EDF, lanserte metoden i en artikkel som ble publisert i 1944. Vannverdimetoden er en "marginalvariant" av stokastisk dynamisk programmering som også er beskrevet av Richard Bellman i en bok fra 1971. John D.C. Little fra MIT i USA løste et tilsvarende problem med klassisk stokastisk dynamisk programmering (ikke "marginalvarianten") i 1954. I perioden 1957 til 1961 utviklet Sven Stage og Yngve Larsson dataprogram for vannverdiberegninger som ble benyttet hos Sydkraft i Sverige. I perioden 1958 til 1962 utviklet John Lindqvist ved Vattenfall et vannverdiprogram som ble brukt for systemplanlegging. Tilsvarende gjorde også Jan-Erik Ryman og Göran Lindström ved Skandinaviska Elverk (SEV) i samme periode.

Arne Johannesen startet utvikling av en vannverdimodell ved EFI (i dag SINTEF Energi AS) høsten 1961, og NVE utviklet sin første modell tidlig i 1963 ved hjelp av Jan Husebye fra Norsk Regnesentral. EFI og NVE baserte seg på de svenske publikasjonene. Programsystemet til SINTEF Energi AS har kontinuerlig blitt videreutviklet siden 1961 og brukes i dag av kraftprodusenter, konsulenter, TSO'er og en regulant i Norden, til sammen 27 selskap.

UTARBEIDET AV

Sverre Aam

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Michael Belsnes

SIGNATUR



GODKJENT AV

Knut Samdal

SIGNATUR



RAPPORTNR

TR A7566

ISBN

978-82-594-3656-6

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
2	Vannverdiberegning og Samkjøringsmodellen	5
3	Den første beskrivelsen av vannverdiberegningen - Pierre Massé fra EDF	7
4	Svenske pionérer - Sven Stage og Yngve Larsson fra Sydkraft	8
5	En beslektet metode anvendt i USA - MIT og Bonneville Power Administration	12
6	Litt til fra USA - Samuel Karlin og John Evans Gessford fra Stanford University	14
7	Den andre modellen i Sverige - John Lindqvist fra Vattenfall	15
8	Svensk kommersialisering - Jan-Erik Ryman og Göran Lindström fra AB Skandinaviska Elverk	18
9	Vattenkraftforeningen og VAST drev fram utvikling i Sverige	19
10	Nordisk samkjøringskonferanse i Stockholm mars 1961	21
11	EFI/SINTEF Energi baserte seg på svensk pionéarbeit	21
12	NVE/Statkraftverkene baserte seg på svensk pionéarbeit	26
13	Tidslinjer	28
14	Diskusjon og konklusjon	30
15	Kilder	32
16	Takk	32
17	Referanseliste	33

1 Innledning

Jeg var på intervju med Lars Thue og Gard Paulsen den 16. november 2015 i forbindelse med at NTNU skal lage en bok om Jens G. Balchen. Da kom vi inn på historien om den såkalte vannverdiberegningen og Samkjøringsmodellen. Jeg ble da inspirert til å undersøke og beskrive vannverdiberegningens og Samkjøringsmodellens historie. Dette er bakgrunnen for stoffet i denne rapporten.

2 Vannverdiberegning og Samkjøringsmodellen

Vannverdiberegningen har blitt utviklet i forbindelse med økonomisk drift av vannkraftdominerte kraftsystem som samspiller med termisk kraftproduksjon og med marked for kjøp og salg av kraft. Metoden har vært i praktisk bruk siden slutten av 1950-tallet ved Sydkraft, Vattenfall og Skandinaviske Elverk i Sverige og tilsvarende utvikling startet i Norge i slutten av 1961.

Problemstillingen går ut på å minimalisere forventede driftsavhengige kostnader over et lengre tidsintervall (f.eks. ett til tre år), gitt informasjon om kraftbehovet, kostnader for termisk kraftproduksjon, priser ved kjøp og salg av kraft, rasjoneringspriser for kraft og statistikk for tilsiget til kraftverkene. Løsningen av dette problemet fører til at det beregnes en pris på vannet i kraftverksmagasinet som en funksjon av magasinbeholdning og tidspunkt på året – en såkalt vannverdi (øre/kWh).

Optimaliseringsproblemet løses med en spesiell variant av bakovergående stokastisk dynamisk programmering. Jeg har bedt Anders Gjelsvik forklare denne spesialvarianten av dynamisk programmering og gjengir den nedenfor. Der viser Gjelsvik også til Bellman, Massé som omtales seinere i notatet. Magne Fjeld sammenlikner vannverdimetoden med dynamisk programmering og Pontryagins maksimumsprinsipp i et teknisk notat fra 1972: "Dynamisk programmering og dens bruk ved drift av vannkraftsystemer", Teknisk notat, 72-90-S, SINTEF avd. Reguleringsteknikk, 1.7.1972.

A brief outline of "The water value method" by Anders Gjelsvik:

A method to calculate the optimal control strategies for dynamic systems is called dynamic programming (DP), where Richard Bellman is regarded as the originator (Bellman, 1957). We consider discrete time.

Let $S(x, t)$ be the expected future cost in going from state $x(t)$ at the end of time interval t , using an optimal strategy. Bellman's principle of optimality says that the optimal strategy for stage t is the one that minimizes the sum of the expected cost for stage t and the optimal expected future costs for continued operation from stage $t+1$ to the end of the study period.

In this way one achieves that the optimization task is divided into a number of smaller optimization tasks that each is to find the optimal operation of the next time interval (week), knowing the future expected cost at the end of the interval as a function of state. One starts at the (assumed finite) time horizon T , where the cost function $S(x, T)$ is assumed known and goes from T to $T-1$ and so on in a backwards recursion. At each stage, a number of different x -values are chosen (in our one-reservoir case an array of equidistant points). For each point, one may compute $S(x, t)$ and then $S(x, t-1)$ etc.

In the case of a hydropower system with the "immediate" cost given as marginal cost of thermal energy, it can be shown that for finding the optimal operation for a time interval t , one does not need to know $S(x, t+1)$. In this case, it suffices to know the derivative of S with respect to the reservoir content x ¹. This is observed by Bellman on

1) The optimum is found by comparing the incremental water value (the derivative of S wrt x) to the marginal market price.

page 19 of his book "Introduction to the mathematical theory of control processes," Vol. II, Academic Press, 1971. **The mentioned derivative is the expected water value.** A backward recursion for the derivative can be established, and thus one can compute and store water values at the chosen reservoir fillings and the whole study period, instead of storing the cost functions. In Norway, it is common to use time steps of one week and 51 equidistant reservoir points covering every 2 per cent of reservoir. In practice, the method is implemented for a single-reservoir system model.

A derivation of the water value method for a single reservoir system is given in the article "Long-term scheduling of hydro-thermal power systems" by A. Gjelsvik, T. A. Røtting and J. Røystrand in Hydropower'92, Broch & Lysne (eds) Rotterdam: Balkema (1992).

The article of Massé (1944) has a recursion equation equal to Bellman's but without labelling it dynamic programming. He does not describe clearly how he organizes calculations with respect to the choice of points (x -values) in state space.

Lindqvist's work follows the principles of dynamic programming. Stage and Larsson's method is, however, slightly modified compared to DP as it simulates multiple time intervals ahead before calculating the marginal values.

This was about the connection between the water value method and dynamic programming. The problem of setting the water values at the horizon is usually solved iteratively. One starts from an approximation, solves for the final year, then one moves computed water values from the beginning of the final year to the end (T), and then repeats this procedure until the changes are small enough. This way, the water values will mainly be determined by the influence from bottom and top of the reservoir, where marginal values equal the curtailment costs, and zero when there is overflow, respectively.

I vannverdiberegningen slår man sammen flere kraftverksmagasin til ett ekvivalent magasin for å oppnå akseptabel regnetid. Man får dermed vannverdien for en sum av flere magasin.

EFI/SINTEF Energi har utviklet den såkalte Samkjøringsmodellen hvor man representerer et stort geografisk område (f.eks. Norden eller Europa) ved å etablere en en-magasinmodell for ulike regioner og så koble disse regionmodellene sammen via et masket nett med transportkapasiteter. Da får man beregnet individuelle vannverdier for de enkelte regionene og blant annet utveksling av kraft mellom disse. Samkjøringsmodellen er beskrevet i blant annet:

- "The Extended Power Pool Model. Operation planning of a Multi-River and Multi-Reservoir Hydro-Dominated Power production System. A Hierarchical Approach", O. Egeland, J. Hegge, E. Kylling, J. Nes, Cigré, 1982 Session – 1-9 September, paper 32-14.
- "Generation scheduling in a deregulated system. The Norwegian case", Olav .B. Fosso, Anders Gjelsvik, Arne Haugstad, Birger Mo, Ivar Wangensteen, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 1, February 1999.
- "Hydro reservoir handling in Norway before and after deregulation", Ove Wolfgang, Arne Haugstad, Birger Mo, Anders Gjelsvik, Ivar Wangensteen, Gerard Doorman, 11th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, Prague, August 24-28, 2008, Elsevier, Volume 34, Number 10, October 2009, ISSN 0360-542.

Samkjøringsmodellen brukes i dag av de fleste store kraftselskapene og TSO'ene i Norden både i forbindelse med drifts- og utbyggingsplanlegging.

3 Den første beskrivelsen av vannverdiberegningen - Pierre Massé fra EDF

Pierre Massé har den første beskrivelsen som vi har funnet av vannverdimetoden i en artikkel fra 1944: "Application des probabilités en chaîne à l'hydrologie statistique et au jeu des réservoirs", Journal de la société statistique de Paris, tome (85), 1944, p 204-219. Massé gav også ut en fransk bok i to bind i 1946 som handler om lagerteori: "Réserves et La Régulation de L' Avenir Dans La Vie Economique", Vol 1 & Vol 2, P. Massé, Herman & Cie, Paris 1946. Vannkraft omtales helt spesifikt i artikkelen, og det omtales også i boka, Vol 2. Vannkraft omtales også i den engelske boka: "Optimal investment decisions; rules for action and criteria for choice", Pierre Massé, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1962.

Judy L. Klein, Professor of Economics, Mary Baldwin College Staunton, VA 24401 USA har en interessant omtale av både Massé sitt liv og forskning i utkast til et kapittel i en bok som hun holder på å bearbeide: "Rules of Action for War and Recursive Optimization: Massé's "Jeu des Réservoirs" and Arrow, Harris, and Marschak's "Optimal Inventory Policy". Der sier Klein at Massé sin presentasjon fra 1944 var forløperen til Bellman sine publikasjoner om Dynamisk Programmering. Hun sier også at Massé hadde et utkast til sin artikkel allerede i 1940. I et notat som Klein har skrevet om Bellman, skriver hun følgende om Massé nederst på side 7 og øverst på side 8: "It was in meeting the challenge of determining the marginal expectation of the stock of the reservoir that Massé took from his *polytechnicien's* tool bag the Markov chains of Maurice Fréchet, the log-normal distributions identified by Paul Levy and Robert Gibrat, the stochastic gaming of Emile Borel, and the recursive approximation techniques of Blaise Pascal." Dette var de inspirasjonskildene som Klein mente at Massé hadde. Det sistnevnte notatet til Klein har tittelen: "Cold War, Dynamic Programming, and the Science of Economizing: Bellman Strikes Gold in Policy Space.

Massé står referert i flere bøker som en pioner innen dynamisk programmering som man kan finne ved å slå opp "Pierre Masse Dynamic Programming" på Google. I boka "Studies in the History of Public Economics", Edited by Gilbert Faccarello and Richard Sturn, Routledge, 17. jun. 2014 står det følgende på side 173: "Investment in electricity production and dam building led Pierre Massé to the early discovery of linear programming and stochastic dynamic programming". I boka "Reflections of Eminent Economists", Michael Szenberg, Lall Ramrattan, Edward Elgar Publishing, 1. jan. 2004 står det følgende på side 280: "Perre Massé had imagined the technique of dynamic programming for such a purpose."

Massé blir referert av flere forfattere som omtales nedenfor, blant andre Lindqvist, Cypser, Kopmans og Gessford-Karlin.

Massé hadde en imponerende karriere i det franske samfunnet og ble blant annet styreleder i EDF. Han står omtalt som følger på Wikipedia: "After graduation from l'[École polytechnique](#), Massé became an engineer at l'[École nationale des ponts et chaussées](#) and a Doctor of Science. From 1928 he worked in the electrical industry and became at [Électricité de France](#) in 1946 the director of electrical equipment and operations and in 1948 the deputy general manager. In 1957 he became president of l'Électricité de [Strasbourg](#). In 1959 [Charles de Gaulle](#) named him Commissaire général du Plan (General Commissioner of Planning) and he held this position until 1966. Massé was chairman of the board of directors of Électricité de France from 1965 to 1969 and an associate professor of [la Faculté de Droit de Paris](#) from 1965 to 1967. He was the first president of the [Fondation de France](#) from 1969 to 1973. He was elected a member of l'[Académie des sciences morales et politiques](#) in 1977.^[1]

Pierre Massé did research in economics on the theories of economic depreciation, dynamic programming, and total factor productivity and in mathematics on [Pontryagin's minimum principle](#). He was an [invited speaker at the International Congress of Mathematicians](#) in 1928 at Bologna."

4 Svenske pionérer - Sven Stage og Yngve Larsson fra Sydkraft

Sven Stage har en tidlig publikasjon om styring av vannkraftverk fra 1948: "Control of The Economic Loading of a Large Hydro and Thermal Power System (in Swedish), S. Stage. Publication no. 400, Svenska Vattenkraftföreningen, Stockholm, Sweden, 1948; published in English translation, Publication no. 454, Stockholm, 1955, pp. 173-220. Denne rapporten handlet ifølge e-post til meg fra Yngve Larsson om deterministisk regulering av korttidsmagasin og hadde ikke noe med vannverdberegning å gjøre. Stage brukte imidlertid der begrepet *pris på sista kWh* for å kunne håndtere problemet. Dette er et viktig marginalprinsipp som også benyttes i vannverdberegningen som ble introdusert i Stages rapport fra 1957, se nedenfor.

S. Stage, m.fl. hadde publikasjoner som handlet om "minimizon" og vannverdberegninger i 1957, 1959, 1960 og 1961, se nedenfor:

"Utilization of Long-Term Storage for Water Plants (In Swedish)", S. Stage, Publication no. 464, Svenska Vattenkraftföreningen, 1957, pp. 145-224.

"Principles of Power Balance Calculations for Economic Planning and Operation of Integrated Power Systems", K. Darin, Y. Larsson, C. E. Lind. J. E. Ryman, B. Sjölander, Publication no. 476, Svenska Vattenkraftföreningen, 1959, pp. 313-384.

"Utilization of Long Term Storage in Combined Hydro and Thermal Power Systems", Stage, S., Larsson, Y., World Power Conference, Madrid, June, 1960.

"Incremental Cost of Water Power", Stage, S. and Larsson, Y. (August 1961): Trans. AIEE, pp. 361 – 365. Dette manuskriptet ble levert inn 21. mars 1960, presentert på AIEE sommerkonferanse 19.-24. juni 1960 og ble tilgjengelig for "printing" 25. november 1960. Det ble også presentert på nytt, kun for diskusjon, på AIEE vintermøte 29. januar til 3. februar 1961, se nederst på første side av artikkelen.

Den første publikasjonen til S. Stage om deterministisk korttidsplanlegging fra 1948 ble oversatt til engelsk av Bonneville Power Administration i USA i 1951, se utskrift fra deres bibliotek nedenfor:

[Control of economic loading of a big hydro and thermal power system](#)

Title Control of economic loading of a big hydro and thermal power system

Author Stage, Sven.

Publisher Stockholm : Swedish Water Power Association, 1948.

Physical description 45 p. ; 27 cm.

Notes Translated from Swedish by John I. Holbeck, Electrical Engineer, 1951.

Subject Electric power systems -- Translations.

Contributor Holbeck, John I.,

Contributing body Swedish Water Power Association.

Library	Copy	Call Number
BPA Library	c1	BOX 0251 BPA3501 1948

De fire sentrale artiklene til S. Stage med flere, som ble publisert i Svenska Vattenkraftföreningen, finnes arkivert i Tekniska museet i Stockholm. Link til disse artiklene finnes nedenfor (De er også arkivert i Kungliga biblioteket, Riksdagsbiblioteket og <http://www.naringslivshistoria.se/> hvor jeg fikk artiklene)

"Kontroll av körningen av ett större kraftsystem", Sven Stage 1948:3

<http://webbsok.mikromarc.se/Mikromarc3/web/detail.aspx?Id=3080&Unit=6471&db=tekniskamuseet>

Engelsk oversettelse av artikkelen ovenfor.

"Control of the economic loading of a large hydro and thermal power system", Sven Stage, 1955

<http://webbsok.mikromarc.se/Mikromarc3/web/detail.aspx?Id=3125&Unit=6471&db=tekniskamuseet>

"Utnyttningen av vattenkraftverkens långtidsmagasin", Sven Stage, 1957:9 (Yngve Larsson skrev Bilag 1 og Bilag 2, se note på side 1)

<http://webbsok.mikromarc.se/Mikromarc3/web/detail.aspx?Id=3131&Unit=6471&db=tekniskamuseet>

"Principles of power balance calculations for economic planning and operation of integrated power systems", Kjell Darin, Yngve Larsson, m.fl., 1959:11

<http://webbsok.mikromarc.se/Mikromarc3/web/detail.aspx?Id=3146&Unit=6471&db=tekniskamuseet>

Det kan se ut som at Stage i sine publikasjoner presenterer metoder som han har kommet fram til helt på egenhånd. Han oppgir ingen/få referanser før AIEE-artikkelen fra 1960/61. I forordet til publikasjonen fra 1948, skrevet av Erik Upmark (https://sv.wikipedia.org/wiki/Erik_Upmark), står det:

"Både den svenskspråkiga och den utländska litteraturen på området är ganska fattig. Redan ur denna synpunkt kan uppsatsen hälsas med tillfredsställelse."

Det kan imidlertid være interessant å studere nærmere referanse nr 35 i doktorgraden til R. J. Cypser (se nedenfor) og undersøke om Stage kan ha fått noe inspirasjon derfra. Referansen er: Lane, E. W., "The Control of the TVA Storage Reservoirs for the Most Economical Power Production," TVA, October 12, 1944 (TVA står for Tennessee Valley Authority). Cypser (1953) omtaler kort denne referansen sammen med en annen og skriver følgende:

"Little has been published on the economy loading problem involving hydro-plants (Justin and Mervine, 27; Lane, 35). However, certain operating practices are well established, particularly in the case of run of the river and pondage plants concerned with short term optimization".

Little fra MIT (se nedenfor) skriver i sin doktorgrad følgende om Lane-TVA-1944:

Lane (9) in a 1944 TVA report discusses reservoir operation taking into account flow probabilities. He does not give many details as to the theory behind the work and how he performs calculations. It appears, however, that certain computational decisions are aided by rules of thumb considered consistent with good operation. The paper has qualitative discussions of some important hydrologic and storage use problems involved in hydro operation.

I Little (MIT) sin doktorgrad fra 1954 trekker han fram Stage-1948 under korttids driftsplanlegging, se min omtale av Little nedenfor. Little utførte en form for vannverdiberegning (stokastisk dynamisk programmering med treghetsmodell for tilsiget) før Stage introduserte sin "minimizon" og vannverdiberegning i publikasjonen fra 1957:9 som er angitt ovenfor.

Stage/Larssons publikasjoner fra 1957, 1960 og 1961 og Darin, Larsson, m.fl. fra 1959 gir en fullstendig presentasjon av Stage/Larssons metode for beregning av "minimizon" og vannverdier. Trolig var disse arbeidene basert på egne idéer. I en e-post til meg har Larsson skrevet følgende om Stages publikasjon fra 1948:

"Sven Stage skrev sin publikation 400 i slutet eller strax efter kriget och han satt nog mest själv och spekulerade."

Jeg vil kommentere at jeg finner det litt forunderlig at Stage kun har en referanse i sin publikasjon fra 1957 (i Bilag 2 av Larsson), og at Darin, Larsson, m.fl. ikke har noen referanser i sin artikkel fra 1959. Jeg ser heller ingen referanser i artikkelen fra World Power Conference i 1960. Det er først i AIEE-artikkelen fra 1960/1961 at det trekkes inn eksterne referanser – en fra TVA, en fra General Electric Company og en under diskusjonen fra Vattenfall. Larsson har gitt meg følgende forklaring på dette i en e-post til meg:

"Detta var strax efter kriget och det fanns inte så många utländska tidskrifter att tillgå och som skulle kunna inspirera oss. Vi var heller inte vana att skriva något för extern spridning. Svenska vattenkraftföreningen var en rätt sluten organisation och det enda som normalt gjordes offentligt var årsmötena, där det hölls många kvalificerade föredrag.Det är mera förvånande att det inte finns några referenser i WPC-rapporten men får nog skyllas på att det var första gången vi skrev en rapport till WPC." Når det gjelder de eksterne referansene i AIEE-artikkelen fra 1960/61 skriver Larsson følgende til meg i en e-post: "Att det kom in några externa referenser i AIEE -rapporten var nog mest en tillfällighet. Vi arbetade med en del avancerade eltekniska frågor och på rekommendation av en dansk kollega kom Anders Björgerd och jag in som medlemmar i AIEE och prenumererade där på den högt kvalificerade tidskriften Power Apparatus and Systems. Vi upptäckte att där även fanns artiklar om vattenkraft som låg nära vad vi skrivit om. Referenserna skrevs nog in i efterhand i syfte att förbereda för en diskussion. Vid AIEE mötet i New York träffade jag både Kirchmayer och Gilbreath."

På basis av dette tror jeg det er riktig å anta at Stage/Larsson sine publikasjoner er basert på egne tanker og idéer.

Sven Stage var en dyktig teoretiker som lanserte viktige teoretiske bidrag blant annet i 1948 og 1957 (siste med bidrag fra Larsson i Bilag 1 og 2). Han var ifølge Larsson født i 1898 +/- et år. Så fikk han med seg Yngve Larsson (født i 1928) i slutten av 1956 til å utvikle datamaskinprogram for langsiktig produksjonsplanlegging. Larsson har selv beskrevet dette i 2007 i sin egen historie på to sider pluss et vedlegg med hans innlegg i Sydkrafts personaltidning nr 2 1957. Larsson skriver i 2007 følgende:

"Baserat på Sven Stages idéer och mitt kunnande i statistik utvecklade jag en metod att baserat på många års vattenlöningsstatistik bestämma ett förväntat marginal värde på vattnet i magasinen som funktion av tiden på året och vattenståndet i magasinen. Därmed kunde man vid varje tillfälle beräkna gränskostnaden för vattenkraftproduktion som kunde ställas mot rörliga kostnaden för ångkraften eller vad man kunde få ut vid tillfälliga affärer på den tidens kraftbörs. Med den jämförelsen som grund kunde tappningen från vattenmagasinen optimeras. Liknande metoder används än idag men de är självfallet numera avsevärt mer avancerade."

Larsson skriver her at han utviklet en metode, basert på Stage. Jeg har fått en lang og grundig e-post fra Larsson 4. januar 2016 hvor han gir meg et svar på når den såkalte vannverdimetoden ble introdusert. Der skriver Larsson følgende:

" Om man vill gradera artiklarna bör enligt min uppfattning rapporten till World Power Congres 1960 anses som den första lanseringen av den iterativa metoden att beräkna vattenvärde." Flere e-poster fra Larsson med utfyllende informasjon er gjengitt i min litteraturliste.

Larsson benyttet datamaskina BESK og tok i starten toget til Stockholm(KTH) for å kjøre denne svært opptatte maskinen om natta. Omtale av denne datamaskina finnes her: <https://sv.wikipedia.org/wiki/BESK>. BESK sto ferdig bygd ved KTH i november 1953.

Larsson sier selv i sin historiebeskrivelse:

"Jag blev 1952 anställd på Sydkraft och kom efter några år att medverka i Sven Stages utvecklingsarbete. Det gällde då främst utnyttningen av långtidsmagasinen i kombination med värmekraft, som vid den tiden var olje- och koleldad ångkraft."

Larsson har i e-post til meg opplyst at han startet å jobbe for Stage i 1956-1957. Larsson tok kurs i programmering av BESK høsten 1956. Så begynte han å anvende BESK for programmering av "minimizon" i starten av 1957. Dette arbeidet er beskrevet i Sydkafts Personaltidning nr 2 1957 som Larsson tror kom ut i september 1957. Parallelt med Larssons programmeringsarbeid skrev Stage sin rapport som ble utgitt i september 1957 med Larsson som medforfatter på bilag 1 og 2. I bilag 3 og 4 innførte Sven Stage begrepet vannverdi og Larsson har karakterisert dette slik i en e-post til meg: "I bilagorna 3-4 för han till sist in ordet vattenvärde med en något svårförståelig definition."

Den første sifferregnemaskinen, Z3, ble utviklet i Tyskland i 1941 og Univac kom med sin første kommersielle datamaskin i 1951. Stage sin første publikasjon var i en tidlig fase av datamaskin-utviklingen og Stage/Larsson sine anvendelser ca. 1957 til 1960 var også i dataalderens tidlige fase.

Når det gjelder den videre utviklingen av programsystemet og anvendelsen i praktisk planlegging og drift har Larsson skrevet følgende til meg i en e-post:

"1958 fick vi en ny organisation i Sydkraft som började tillämpas under 1959. Sven Stage blev teknisk direktör och under honom blev Anders Björgerd chef för driftbyrån och jag blev chef för en ny enhet med benämningen Planeringsbyrån. Jag fjärmade mig därmed från utvecklingen av hjälpmedlen för den dagliga driften. Efter några år skaffade driftbyrån en ny dator som användes enbart för driften av produktionsanläggningarna och övervakningen av distributionssystemet. Av våra fina teorier klarade nog inte allt kontakten med verkligheten men huvuddragen och tänkesättet fanns kvar. En komplikation var dock att det i produktionssystemet kom in det stora oljekraftverket i Karlshamn och kärnkraftverket i Oskarshamn som gjorde att en del finesser i vattenkraftregleringen drunknade. Vidare ställde de allt kraftigare förbindelserna med grannländerna till problem i beräkningarna och krävde en särskild hantering.

Den del av det tidigare utvecklingsarbetet som avsåg kraftbalansberäkningar var ett väsentligt verktyg för långtidsplanering av kapacitetsutbyggnader som gjordes i Planeringsbyrån och blev därmed kvar hos mig. Jag hade fram till dess räknat på BESK men för att minska resandet gick jag över till den snarlika datorn DASK som fanns vid Regnecentralen i Valby i utkanten av Köpenhamn. Jag fick emellertid skriva om alla program och gjorde då samtidigt en del förbättringar och förenklingar. Pricipen var emellertid oförändrad och jag använde ungefär samma blockindelning som illustreras i Jan-Erik Rymans föredrag vid den nordiska konferensen 1961. Jag fick snart en medarbetare som svarade för rutinkörningarna i Köpenhamn. I början av 1960-talet kom vi in i ett intensivt skede med kraftig ökning av elkonsumentionen. Det var många alternativa utvecklingsscenarioer som vi räknade på med hjälp av det program som då låg på DASK. Programmet hade inget särskilt namn. Det visade sig snart under 1960-talet att finansieringsfrågorna var av större betydelse än detaljerna i produktionssystemet. Jag utvecklade därför tillsammans med en då nyanställd medarbetare, Lennart Fogelström, "A model for long range financial planning in energy utilities" som finns beskriven i en rapport till WEC 1971. (Den ligger kanske utanför vad ditt notat skall handla om men om du vill kan jag skanna in den.) För beräkningarna med den finansiella modellen utnyttjade vi SAAB D 21 hos Kraftdata men vi låg på gränsen av dess kapacitet." (Rapporten til WEC 1971 finnes i Sverre Aams bibliotek ved SINTEF Energi.)"

Yngve Larsson utarbeidet også en rapport om korttidsplanlegging som er beskrevet i: "Optimering av korttidsreglering i vattenkraftverk", Svenska Vattenkraftföreningens Publikationer, Publ. 501, 1963:7. Der benyttes deterministisk Dynamisk Programmering (Ref. Bellman).

5 En beslektet metode anvendt i USA - MIT og Bonneville Power Administration

Tidlig på 50-tallet var det en betydelig aktivitet ved MIT hvor Bonneville Power Administration deltok i veiledning. En doktorgrad derfra i 1953 beskriver et omfattende samarbeid mellom MIT og B.P.A.. Doktorgraden er skrevet av Rudolph John Cypser. Den tar for seg optimal drift av vannkraftsystemet uten å ta hensyn til stokastisk variasjon i tilsiget (deterministisk modell) og kan derfor ikke sammenliknes med vannverdimodellen. Den gir imidlertid en interessant omtale av samarbeidet mellom MIT og B.P.A. innenfor temaet vannkraft. Jeg har skaffet et eksemplar av denne doktorgraden til SINTEF Energi.

I sin doktoravhandling beskriver Cypser blant andre følgende involverte:

- Thesis Supervisor: Professor Eugene W. Boehne, Professor of Electrical Engineering.
- Faculty advisors for the thesis: Prof. A. E. Fitzgerald and Prof. W. M. Pease.
- Mr. B. V. Hoard and Mr. W. Whitbeck, who with others of the B.P.A. staff have contributed much to the formulation and understanding of the problem.
- Prof. P. Franklin, of the Mathematics Department, for the benefit of his counsel on the mathematical approach to the problem.
- Mr. C. A. Powel, lecturer at MIT and Mr. H. Stuart of the New England Power Company, for their cooperation and assistance in informing the writer on current practices in the industry.

I sin litteraturliste oppgir Cypser flere rapporter fra B.P.A., blant andre disse:

- 8. BOEHNE, E. W., "Incremental Loading of a Hydraulic Network," Bonneville Power Admin. Memo., Br. of Systems Engrg., BPA, Portland, Oregon. August, 1951.
- 26. HOARD, B. V., "Economical Loading of the BPA System, Second Progress Report," Bonneville Power Administration Memo., Branch of System Engrg., December 1951.
- 66. WEINER, I. and W. WHITBECK, "Report on Economic Loading," Br. of Systems Engrg., Bonneville Power Admin., Portland, Oregon, July 10, 1952.
- 67. WEINER, L. and W. WHITBECK, "Short Range Economic Loading – Second Report," Office Memorandum, Br. of System Engrg., Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, August 29, 1952.
- 68. WHITBECK, W. F., "Economy Loading of a Multiple Dam Hydroelectric System," Report on Mathematical Classification, Br. of System Engrg., Bonneville Power Adm., Portland, Oregon, February 21, 1952.
- Han oppgir også referanse til boka til Pierre Massé Vol I&II.

En **Whirlwind I computer** (https://en.wikipedia.org/wiki/Whirlwind_I) ble brukt til å foreta beregningene.

Jeg vil også nevne at det foreligger en masteroppgave fra 1950 ved MIT innenfor vannkrafttemaet som Cypser har i sin referanseliste: 11. CHANDLER, W. M. and A. F. GABRIELLE, "Economy Loading of Hydroelectric Systems," MIT: Elec. Engrg. M. S. Thesis, Sept., 1950. Så denne aktiviteten ved MIT foregikk nok også før Cypseres doktoravhandling.

Som nevnt ovenfor oversatte B.P.A. Stage sin artikkel fra 1948 fra svensk til engelsk i 1951 og denne artikkelen blir oppgitt i Cypseres referanseliste: 60. STAGE, S., "Control of Economic Loading of a Large Hydro and Thermal Power System", Swedish Water Power Assn. Publication 400. (1948:3). Translated by Bonneville Power Adm., Br. of Systems Engrg., Portland, Oregon. Men når jeg søker automatisk gjennom pdf-versjonen av doktorgradsavhandlingen finner jeg den ikke omtalt annet enn i litteraturlisten.

I 1954/1955 kom to publikasjoner fra MIT som kan sammenliknes med vannverdimetoden. I 1955 skrev John D. C. Little fra MIT artikkelen "The Use of Storage Water in a Hydroelectric System" i Journal, Operations Research Society of America, Baltimore, Md., no. 2, May 1955, pp. 187-197. Der beskriver han bruk av stokastisk dynamisk programmering for optimal drift av et vannkraftsystem med stokastisk tilsig, inklusive modellering av tregheten i tilsiget fra uke til uke. Han referer til R. Bellman's teori om dynamisk programmering fra 1953 og 1954. Little kjente til S. Stage sin publikasjon fra 1948 som B.P.A. oversatte til engelsk i 1951, se nedenfor om hans doktorgrad. Little referer ikke til S. Stage i sin Journal artikkel. Dette har nok sammenheng med at Stage i sin 1948-artikkel behandlet deterministisk kortidsplanlegging og at Little bare hadde 4 referanser i artikkelen.

I tillegg til den meget anerkjente matematikeren/kybernetikeren R. Bellman, som introduserte teorien om dynamisk programmering (https://en.wikipedia.org/wiki/Bellman_equation), trakk Little inn teori fra lagerstyring ved å inkludere "Inventory Theory" i sine studier:

- Dvoretzky, A., J. Kiefer, and J. Wolfowitz, "The Inventory Problem: I, Case of Known Distributions of Demand," *Econometrica*, Vol. 20, April, 1952, pp. 187-222.
- Dvoretzky, J. Kiefer and J. Wolfowitz, "The Inventory Problem: II. Case of Unknown Distributions of Demand", *Econometrica*, Vol. 20, No. 3 (Jul., 1952), pp. 450-466.

"I tredje avsnitt på side 189 i sin artikkel skriver Little: "The hydroelectric problem as handled here can be considered as a special case of the rather general work of Dvoretzky, Kiefer and Wolfowitz on the inventory problem. The hydroelectric problem differs from the usual business inventory problem in that the input, not the output, is the random variable. The power demand is considered fairly well-known in advance but the river flow is not. "

Little takker professor P.M. Morse, MIT på slutten av sin artikkel, https://en.wikipedia.org/wiki/Philip_M._Morse (Omtalen av denne professoren på Wikipedia er imponerende). Så han hadde en annen veileder ved MIT enn Cypser, men B.P.A. takkes for støtte til arbeidet nederst på første side i artikkelen.

Little bygde sin Journal-artikkel på sin doktorgrad ved MIT som ble innlevert i februar 1954. Jeg har skaffet et eksemplar av denne. I doktorgraden referer Little til Stage-1948 (hans referanse nr 3) på følgende måte på side 7:

plant throughout the day. This latter problem, short range power dispatching, is not a simple one and has been studied by various writers (1,2,3). The long range problem considered here suppresses the fine details of daily operation but introduces effects ignored in short range analyses, namely, the uncertainty of future stream flows and the variation of head at big reservoirs over a season.

Her plasserer Little Stage-1948 sitt bidrag under "short range power dispatching" i sin Introduction og han trekker ikke fram Stage seinere i rapporten.

Det er litt forunderlig at Little ikke referer til Pierre Massé. Han må ha kjent til hans bok fra 1946 gjennom litteraturlisten til Cypser, og Little og Massé behandler samme problemstilling. Kan det skyldes at boka til Massé er skrevet på fransk eller at Little ikke har sett sammenhengen mellom dynamisk programmering (som han brukte) og marginalformulering (Ref. Bellman 1971) som brukes hos Massé?

Little er omtalt på Wikipedia her: [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Little_\(academic\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Little_(academic))

Little brukte også en **Whirlwind I** computer ved MIT for å gjøre beregningene (slik som Cypser). På Wikipedia(https://en.wikipedia.org/wiki/Whirlwind_I) står det følgende om denne datamaskina:

"**Whirlwind I** was a [Cold War vacuum tube computer](#) developed by the [MIT](#) Servomechanisms Laboratory for the [U.S. Navy](#). It was amongst the first digital electronic computers that operated in real-time for output, and the first that was not simply an electronic replacement of older mechanical systems. Its development led directly to the Whirlwind II design used as the basis for the [United States Air Force SAGE](#) air defense system, and indirectly to almost all business computers and [minicomputers](#) in the 1960s." Utviklingen av denne datamaskina startet i 1948 og ble fullført i april 1951.

Etter Little finner jeg ikke noen spesiell videre aktivitet rettet mot dette temaet ved MIT.

6 Litt til fra USA - Samuel Karlin og John Evans Gessford fra Stanford University

Matematikeren Samuel Karlin var en av tre hovedforfattere av følgende bok: "Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production", Stanford University, Dec. 1958. På side 179-200 har medforfatter John Gessford og hovedforfatter Karlin et eget kapittel om "Hydroelectric Operations". I innledningen på side 180 referer de til blant andre Pierre Massé, John D. C. Little og T.C. Koopmans. I sin referanseliste viser de blant andre til personene nevnt foran, Bellman og John Evans Gessford, "The Use of Reservoir Water for Hydroelectric Power Generation", Dissertation, Stanford University, 1957. Jeg har skaffet kopi av sidene 179-200 i den nevnte boka.

Gessford/Karlin skriver i sin innledning følgende: "In conclusion, it has been found that the problem of utilizing the water power that is available for generation of electricity in the most economical way can be solved, using well-known methods of mathematical analysis. Karlin har en imponerende omtale i Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Samuel_Karlin

Det er interessant at Stanford interesserte seg for drift av kraftverk, men det nevnte kapitlet ser ifølge Gjelsvik ikke ut til å ha hatt noen særlig betydning for utviklingen av vannverdimetoden.

7 Den andre modellen i Sverige - John Lindqvist fra Vattenfall

John Lindqvist (født 1922) implementerte sin vannverdimetode i praktisk drift hos Vattenfall våren 1959. Hans metode er godt beskrevet i "Operation of a Hydrothermal Electric System: A Multistage Decision Process", Lindqvist, J., Power Apparatus and Systems, Part III, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers (AIEE) (Volume 81, Issue 3), pp. 1-6, April 1962. Artikkelen ble opprinnelig levert inn 8. Juli 1960, presentert på en konferanse 9.-11. november 1960 og gjort tilgjengelig for "printing" 18. november 1960, se nederst på første side i artikkelen. Stage/Larsson og Lindqvist sine artikler i AIEE kom omtrent samtidig, men Stage Larsson presenterte sin artikkel fem måneder tidligere enn Lindqvist, se ovenfor under Stage/Larsson. Lindqvist referer til P. Massé, R. Bellman, J. D. C. Little fra MIT, S. Stage og Inventory Theory med A. Dvoretzky, m.fl.. Lindqvist oppgir dermed en solid basis fra anerkjent teori innen både kybernetikk og økonomi. (Gjelsvik mener at Dvoretzky ikke har hatt direkte påvirkning på formuleringene i vannverdimetoden).

I diskusjonen til Lindqvist sin AIEE-artikkel, nevnt ovenfor, skriver A. Arismunandar (Illinois Institute of Technology, Chicago): The mathematical method has been used before (1, 2), although the approach in this paper probably gives the most satisfactory engineering results of all. Han referer til følgende publikasjoner: Little-MIT-1955 og "Water Storage Policy in a Simplified Hydroelectric System", T. C. Koopmans, Paper no. 115, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New Haven, Conn., 1958. (Gjelsvik mener at Koopmans artikkel ikke har hatt vesentlig påvirkning på utviklingen av vannverdimetoden.)

På slutten av S. Stage/Y. Larsson sin artikkel fra 1961, nest siste avsnitt under diskusjonen henviser S. Stage/Y. Larsson (fra Sydkraft) til Lindqvists metode og skriver følgende:

"Within the Swedish State Power Board (min kommentar: Vattenfall) an alternative method for the calculation of the water value was recently developed, which in principle coincides with our method if the period is chosen to be 4 weeks (1 month)."

Han oppgir denne referansen: "Operation of a Hydro-Thermal Electric System-a Multistage Decision Process", J. Lindqvist. AIEE Transactions, pt. III (Power Apparatus and Systems), vol. 80, 1961 (Paper no. 60- 1400). Dette er artikkelen som sammen med diskusjonen ble til artikkelen Lindqvist-1962 som er beskrevet ovenfor.

Det forundrer meg litt at S. Stage/Y. Larsson i 1961 ikke referer til Bellman eller Little fra MIT. Det kan tyde på at de hadde en litt annen faglig innfallsvinkel enn Lindqvist og Little, eller at de baserte sitt utviklingsarbeid på egne idéer, som omtalt ovenfor.

Jeg er usikker på hvor mye samarbeid det var mellom Stage/Larsson (Sydkraft) og Lindqvist (Vattenfall) med hensyn til modellutvikling. I e-post til meg skriver Larsson at han hadde en del kontakt med Lindqvist før Larsson gikk over i ny jobb i 1959.

Lindqvist skriver i sin artikkel at hans metode er implementert på "Swedish digital computer Facit EDB, https://sv.wikipedia.org/wiki/Facit_AB. På Wikipedia står det: "Facit började 1958 att tillverka transistorbaserade datorer, Facit EDB och Facit EDB-3". Ved henvendelse til Tekniska Museet i Stockholm har jeg fått interessant informasjon fra Peter Du Rietz ('Peter Du Rietz' peter.durietz@tekniskamuseet.se) om Vattenfalls muligheter for å anvende Facit EDB.

Han skriver følgende i e-post til meg 2016-02-23:

Tyværr har vi inget material om dette (Lindqvists tidige anvendning av datamaskiner) i våre samlinger. Jag kan däremot kommentera dina tankar kring Facit EDB.

Facit EDB var en klon av den första svenska elektroniska datorn, BESK. Facit EDB var inte transistoriserad, det står fel på Wikipedia. En del kringutrustning kom däremot med tiden att innehålla transistorer, men inte själva datorn. Om John Lindqvist arbetade på en Facit EDB och började sina beräkningar våren 1959, då kan det bara vara fråga om två maskiner (siffran anger bara att det var den första respektive den andra Facit EDB som tillverkades, totalt tillverkades 9 (inte tio).

- 1) Facit EDB 1, som stod på Åtvidabergs serviceanläggning på Karlavägen 62 i Stockholm och invigdes den 1. oktober 1957. Att det var en serviceanläggning innebar att företag och myndigheter kunde hyra in sig på maskinen.
- 2) Facit EDB 2, som inköptes av ASEA i Västerås och invigdes den 12 december 1958. Kan Vattenfall och ASEA haft ett samarbete, som gjorde att Lindqvist fick använda denna dator?

Vattenfall köpte aldrig någon egen Facit EDB.

Lindqvist hadde utviklet ferdig Vattenfall sin modell våren 1959 på Facit EDB. Omtalen av Facit EDB kan tyde på at Lindqvist startet sin modellutvikling i 1958 og tidligst 1. oktober 1957. Jeg regner det som sannsynlig at John Lindqvist leide seg inn på datamaskina i Stockholm. Jeg regner det også som sannsynlig at Lindqvist kjente til Stage/Larsson sin publikasjon fra 1957:9, hvor vannverdi prinsippet var lansert i Bilag 3, da han startet med sin modellutvikling.

Jeg har henvendt meg til Vattenfall gjennom flere kanaler for å få verifisert når Lindqvist startet opp sin datautvikling, men det synes som om de ikke har noen beskrivelse av sin tidlige datahistorie. Bo Wrang hos Vattenfall har lagt ned et betydelig arbeid for meg og undersøkt hos flere personer som tidligere var ansatt ved Vattenfall, men han har ikke funnet noen relevante dokumenter. Han har imidlertid sendt meg en e-post hvor det angis mulige spor for å undersøke saken videre. To av disse sporene, som er angitt av Svante Färnbo, kan være:

- 1) Kurt Wedin startade en gång ett projekt med att beskriva tidig datautveckling på Vattenfall. Jag har inte tillgång till dokumentet just nu - men jag har iofs inget minne av att det finns ngt nämnt om ngn Facit mm. där. Han gjorde i alla fall en del research och kanske minns.
- 2) Lennart Lundberg har berättat hur man började använda BESK, vet han mer?

Jeg har ikke gått videre med disse sporene.

Professor Arne Kaijser ved KTH har skrevet en interessant artikkel om bruk av datateknologi i svensk kraftforsyning i perioden 1950 til 1980: "The Use of Computers for Controlling Electricity Flows in Sweden, 1950–1980". Artikkelen er en del av følgende bok, side 28: "History of Nordic Computing 3", Springer 2011.

https://books.google.no/books?id=4cCqCAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=no&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

I kapittel 2, "The Challenge of Efficiency" skriver Kaijser følgende:

"In the 1950s, two engineers at the Sydkraft power company, Sven Stage and Yngve Larsson, developed a rather sophisticated mathematical theory for such calculations. The latter developed a computer program for these

calculations that ran on BESK [8]. Ölwegård recalls that he and Larsson met each other sometimes while running their respective programs at night on BESK [5]!

Vattenfall developed a similar method for calculating marginal costs and there was a certain tug of war between the two methods. Nonetheless, a power pool agreement was reached in 1965 between the twelve largest power companies."

Det var Lindqvist som utviklet modellen ved Vattenfall for "calculating marginal costs". Ölwegård fra Vattenfall utviklet program for beregning av transient stabilitet i kraftnett på BESK på 1950 tallet. Kaijser skriver følgende om hans utviklingsmiljø etter bruken av BESK:

"When more powerful computers became available in the early 1960s, Ölwegård and his colleagues at Vattenfall's Planning Division developed a more comprehensive computer model of the Swedish power system called Dynamic Stability (DYN STAB). Vattenfall was able to make simulations at night on a big IBM 7090 computer, owned by the Swedish Defense Research Institute, FOA, until Vattenfall bought a computer of its own in the mid-1960s [5]".

I et notat om produksjonsplanlegging i Vattenfall, som jeg har fått av Svante Färnbo og som ikke er datert, men sannsynligvis skrevet i ca. 1965 skriver John Lindqvist og Lennart Tyrén at de har benyttet IBM 7090 til kjøring av programsystemet sitt siden 1963. Det er meget sannsynlig at dette er samme IBM maskin hos FOA som Ölwegård benyttet. I et notat fra IBM om IBM maskiner i Sverige står det følgende:

"In 1962 an IBM 7090 data processing system is used by the Military Weather Service". Notatet til Lindqvist/Tyrén har tittelen "Optimized Electric Power Production Planning by Digital Computers in Sweden."

Ut fra det som er omtalt ovenfor konkluderer jeg med at Lindqvist sannsynligvis benyttet Facit EDB ved Åtvidabergs serviceanlegg på Karlavägen 62 i Stockholm fra 1958 til 1962 og gikk over til IBM 7090 ved FOA fra 1962 til Vattenfall fikk egen datamaskin midt på 1960-tallet.

John Lindqvist står omtalt i et notat skrevet av Erik Sandström om utviklingen av Vattenfalls og Sveriges første digitale driftcentral, TIDAS, som ble satt i drift 7. Februar 1977. (TIDAS står for "Total Integrert Data System för Produktionsplanering, Nätövervakning, Beräkning och Analys"). I notatet, som finnes på Tekniska Museet, står det følgende om Lindqvist:

"Taktikern på Kraftkontroll var avdelningschefen John Lindqvist, en värmlänning med många drag av förre stadsministern Tage Erlander. John, som visste att Lasse alltid ville hålla tidsplaner, hade smugit in ett års reservtid i projektet."

Lindqvist ble nok en viktig person for driftsmiljøet i Vattenfall.

Svante Färnbo har sendt meg en kopi av Vattenfalls personaltidning fra 1958 som han har fått kopiert på Vattenfalls bibliotek. Der står det en artikkel om bruk av datamaskina Elwac III E som ble installert ved Vattenfalls regnskapskontor 13. januar 1958. Datamaskina står omtalt som "denna mindre kalkylmaskin". Videre står det: "Byrådirektør J. Bubenko vid driftsbyråns kontor för numerisk analys berättar att man bl.a. utfört omfattande kraftbalansberäkningar på maskinen".

Bubenko er intervjuet om sin karriere av Frederik Nebeker, IEEE, Center for the History of Electrical Engineering, 15. july 1996.

http://ethw.org/Oral-History:Janis_Bubenko

Min hypotese er at dette var enkle beregninger og ikke omfattende beregninger som vannverdiberegning innebærer. Jeg bygger min hypotese om enkle beregninger på følgende:

- Bubenko sier i linken ovenfor under kapitlet om Swedish Power Board: "We wanted to calculate how to use the water in the small magazines of these power plants. This was our first job." Vannverdiberegningen ble først og fremst anvendt for langtidsmagasin og ikke små magasin.
- Yngve Larsson har skrevet følgende til meg vedrørende Elwac III E: "Tack för artikeln om Vattenfalls användning av Alwac-maskinen. Jag gjorde också några försök med den maskinen, det var sockerbolaget i Malmö som hade installerat en sådan och som jag vid något tillfälle provade. Jag konstaterade snabbt att den var helt oanvändbar för mina beräkningar. Jag är förvånad att Vattenfall verkligen kunde få ut något av den."
- Videre brukte John Lindqvist Facit EDB til vannverdiberegninger i 1958/59, ref. omtale ovenfor.

8 Svensk kommersialisering - Jan-Erik Ryman og Göran Lindström fra AB Skandinaviska Elverk

Jan-Erik Ryman hadde en interessant artikkel på Årsmøtet til Svenska Vattenkraftföreningen i 1958 med tittelen "Samspelet mellan vattenkraft, konventionell värmekraft och atomkraft – Principiell teknisk-ekonomisk jämförelse". Denne er gjengitt i referatet fra Årsmøtet på side 143-188. Det er tydelig at han var ansett i Sverige som en stor kapasitet innen kraftsystemanalyser.

I mars 1961 inviterte Kung. Vattenfallsstyrelsen kraftselskapene i Norden til en nordisk samkjøringskonferanse i Stockholm. Der var Ryman invitert til å holde første foredraget under sesjonen "Økonomisk analys av samkjøringsproblemet". Han skrev da en omfattende artikkel om vannverdiberegninger, se omtale nedenfor.

Ryman var på en studiereise til USA og Canada i 1961 i forbindelse med at Skandinaviska Elverk skulle kjøpe ny datamaskin for kraftsystemanalyser – en SAAB D21. Han skrev en interessant reiserapport i Svenska Vattenkraftföreningens publikasjoner i 1962:5, "Elektroniska datmaskiner vid drift av kraftverk och kraftsystem".

AB Skandinaviska Elverk (SEV) var den første kunden til å kjøpe og ta i bruk SAAB D21 og har derfor fått en ærverdig plass i DATASAAB sin historie. Göran Lindström har der skrevet en lengre artikkel om SEV sin medvirkning til utviklingen av denne datamaskina og bruken av den hos SEV, ref Göran Lindström-1994, side 23-30. Se også bilde av Ryman på side 8.

Göran Lindström ble utdannet ved KTH i 1957 og startet sin første jobb hos SEV under ledelse av Ryman. Han ble sendt rett på et tre ukers kurs i programmering av Facit EDB3 (etterfølger av BESK). Da han begynte å jobbe ble han satt rett på oppgaven å løse langtidsdisponering av SEV sine vannkraftverk i kombinasjon med varmekraft. (Jeg synes det er verd å kommentere at Lindström var en nyutdannet person som ble satt til å lære seg datateknikk under Ryman på samme vis som Larsson ble satt til det samme under Stage.) I Lindström-1994 skriver han: "Som vägledning fanns inom branschen (bl. a. Stage och Yngve Larsson, Sydkraft) åtminstone teoretiskt utarbetade metoder för att lösa problemet. Vidare hade Pehr Lundquist, SEV, gjort några program på BESK för att försöka finna lämpliga vägar fram till en lösning." Lindström fikk til en løsning på oppgaven på en Facit EDB3 i starten av 1958. Ryman solgte dette inn til ledelsen i selskapet og SEV og DATASAAB begynte en dialog i 1958/59 om utvikling av en ny datamaskin. Det førte til at SEV fikk installert den første SAAB D21 modellen våren 1962. Man kan trygt si at SEV var en av pionérene til å ta i bruk svensk datakraft rundt 1960.

SEV utviklet dataprogrammet KR 63 (senere KR70) som ble forvaltet videre av Kraftdata AB.

I 1969 var datautviklingen blitt en suksess og SEV etablerte Kraftdata AB sammen med Stockholm Stad og Krångedegruppens Samkörning AB. Göran Lindström ble VD for Kraftdata AB og satt i denne stillingen fram til 1991.

I 1971 ble det gitt ut en interessant rapport om bruk av vannverdimodeller for optimal samkjøring av kraftproduksjonsenhetene i Sverige: "Bestämning av marginalvärden för körning och kraftutbyten" av Lars Wiklund, Sven Hansson, Göran Lindström, Lennart Modén og Per Persson. Et sammendrag av denne rapporten er gjengitt i Svenska kraftverksföreningens publikationer, publ. 551, 1971, pp. 175-206. Jeg har også skaffet et eksemplar av den fullstendige rapporten som har samme tittel og hvor det på første siden står: "Rapport utarbetad på uppdrag av samkörningsnämndens kraftutbyteskommitté".

9 Vattenkraftföreningen og VAST drev fram utvikling i Sverige

Den svenske Vattenkraftföreningen etablerte 22 mai 1957 Vattenkraftföreningens stiftelse för tekniskt utvecklingsarbete – VAST. Denne etableringen var et resultat av diskusjoner innen den uformelle "Kraftverksklubben" i Vattenkraftföreningen hvor leder for de private og kommunale elverkene møttes for å drøfte felles spørsmål. Kraftverksklubben så det som viktig å gå sammen om felles utviklingsarbeid for å hevde seg overfor det statlige Vattenfall. Historien om dette er godt beskrevet i mitt biblioteks notat om VAST.

Kraftverksföreningen etablerte den såkalte Kraftbalanskommittéen i 1955 med Ryman som leder. De baserte seg på Stages teorier og leverte sin rapport i 1958. Som et resultat av Kraftbalanskommittéen sin rapport etablerte VAST den såkalte Samkjøringskommittéen med Ryman som leder og Larsson, m.fl. som medlemmer. Denne komitéen avsluttet sitt arbeid i 1960.

Arbeidet for de to komitéene var nok en sterk drivkraft bak Stages og Rymans arbeider fra 1955 til 1960.

Larsson har i e-post til meg skrevet sitt eget minne om arbeidet innen VAST med vannverdiberegning som jeg gjengir nedenfor:

"VAST bildades för att de enskilda och kommunala kraftföretagen skulle öka satsningen på teknisk utveckling för att komma på mera jämställd fot med Vattenfall. Ett område där man redan hade kommit längre än Vattenfall var optimeringsmetoder för utnyttning av vattenkraftverkens regleringsmagasin. Man började därför med att satsa på vidareutveckling på det området och etablerade en kraftbalanskommitté. I Uno Sandströms historik står på sid 90 bredvid en bild av Sven Stage: Begreppen "minimizon" och "priset på sista kWh" lanserades av tekniske direktören Sven Stage. Begreppen låg till grund för Kraftbalanskommitténs arbete.

Stages skrift "Kontroll av körningen av ett större kraftsystem" SVKF publ nr 400 publicerades 1948.

Stages skrift "Utnyttningen av Vattenkraftverkens långtidmagasin" med två bilagor av Yngve Larsson, SVKF publ nr 464 publicerades 1957 men fanns med all säkerhet i konceptform något år tidigare då Kraftbalanskommittén etablerades.

Ordförande i Kraftbalanskommittén var Jan-Erik Ryman, då anställt i Stockholms Elverk och assistent till tekniske direktören Karl Dagert. Övriga deltagare var Kjell Darin, driftchef i BGK, ett mindre kraftföretag i mellansverige, Yngve Larsson, assistent till Sven Stage i Sydkraft, Carl-Erik Lind, VD-assistent i Hammarforsens Kraft AB, ett mindre kraftföretag i södra Norrland, Bertil Sjölander, driftingenjör i Indals- m fl älvars regleringsföretag. De två personer som nämns i en fotnot kom från mindre kraftföretag i Norrland och Värmland. De medverkade endast sporadiskt.

Ingen av kommittédeltagarna var, i varje fall i början av arbetet, expert på vattenvärde. Det var Sven Stage som var den expert som vi stödde oss på och jag fångade tidigt upp hans kunnande och kompletterade med min kunskap i matematisk statistik. Ryman och Lind hade i sina företag börjat använda datorer. Sjölander var väl förtrogen med den statistik över vattenföringen i de stora älvarna som fanns tillgänglig och hade viss erfarenhet av datoranvändning.

I kommittéarbetets inledningsskede utarbetade jag den metod för iterativ beräkning av vattenvärde som senare publicerades i flera publikationer 1959-60, bl a i en rapport till WEC i Madrid 1960 och senare i mera stringent matematisk dräkt i en rapport till AIEE i USA 1960-61.

Det är möjligt att efter kommittéarbetet blev vi alla jämte våra medarbetare "experter" på minimizonbestämning och beräkning av vattenvärde.

Kraftbalanskommitténs arbete redovisades enligt historiken 1958. Det var en intern rapport till Styrelsen i VAST där man samtidigt föreslog en utredning om en mer omfattande samkörning mellan kraftföretagen i landet. Styrelsen beslöt att arbetet skulle fortsätta i en samkörningskommitté.

Eftersom redovisningen av Kraftbalanskommitténs arbete var en intern handling valde man att samtidigt publicera "Principles of power balance calculations etc " med kommittéledamöterna som författare, SVKF publ 476. Man ville ha något att visa upp inför planerad senare kontakt med Vattenfall.

Kraftbalanskommitténs resultat vad avser minimizonbestämning och beräkning av vattenvärde kom till direkt användning i den följande samkörningskommittén. Metoderna för beräkning av kraftbalanser var inte så väl bearbetade av Kraftbalanskommittén men fick sin fortsättning i de berörda kraftföretagens arbete med utbyggnadsplanering. Det framgår bl a av det föredrag som Jan-Erik Ryman, då överingenjör i Skandinaviska Elverk, höll vid samkörningskonferensen 1961. Ryman blev senare VD i Skandinaviska Elverk och tog där initiativ till etablering av ett dotterbolag som skaffade en egen dator, SAAB D21, och sålde såväl maskintid som konsulttjänster på kraftproduktionsområdet. Jan-Erik Ryman skrev tillsammans med Göran Lindström, som var chef för dotterbolaget, en omfattande skrift om verksamheten som är publicerad i Svenska Kraftverksföreningens publikationer nr 526, 1967 : "Långsiktiga investeringsbeslut vid olika alternativ och med osäkra förutsättningar : (med belysande av problematiken utgående från långsiktig planering av kraftproduktionsresurser).

Inom Planeringsbyrån vid Sydkraft där Yngve Larsson var överingenjör och chef utvecklades en egen version av Kraftbalansprogrammet som kördes under flera år på datorn DASK vid Regnecentralen i Köpenhamn."

10 Nordisk samkjøringskonferanse i Stockholm mars 1961

Som nevnt ovenfor ble det arrangert en nordisk samkjøringskonferanse i Stockholm i mars 1961 i regi av Kungl. Vattenfallsstyrelsen. På dette møtet hadde Ryman et hovedinnlegg om vannverdiberegninger som er gjengitt i en bok fra konferansen: "Elkraftsamarbete i Norden", Kungl. Vattenfallsstyrelsen, Stockholm 1961. Tittelen på foredraget var "Körning av ett blandat kraftsystem – problemställningarna i krafthushållningsfrågor", side 129-155. Lindqvist har et diskusjonsinnlegg som er gjengitt på slutten av Ryman sin artikkel. Videre tok man inn i boka en artikkel av Lindqvist som ikke ble presentert på møtet (slik jeg tolker innledningen til boka). Artikkelen til Lindqvist hadde tittelen ""Driften av ett elektrisk produktionssystem – en flerstegs beslutningsprosess. Lindqvist refererer til Stage/Larsson sin opprinnelige AIEE konferanseartikkel fra 1960, men ikke til sin eget AIEE konferanseartikkel fra samme år.

Ryman og Lindqvist må ha vært ansett som kapasiteter innenfor dette fagområdet. På konferansen hadde både Sven Stage og Yngve Larsson hver sin mindre artikkel innenfor beslektede tema og var nok også ansett som kapasiteter på dette fagområdet. Stage tar i sin artikkel til orde for å beregne vannverdier og legge slike analyser til grunn for samkjøringen av kraftverk i Norden.

Norge deltok med tre representanter fra NVE – V. Hveding, E. Wessel og A. Vinjar. De beskrev det norske kraftsystemet og utfordringer knyttet til utbygging og drift av det norske kraftsystemet. De hadde ikke med noe om vannverdiberegninger i sine innlegg.

Jeg vil tro at NVE etter dette møtet så behovet for å sette i gang med vannverdiberegninger i Norge. Svenskene hadde da holdt på med dette siden 1957/1958 og hadde de fem omtalte kapasitetene (Stage/Larsson, Lindqvist, Ryman/Lindström) på fagområdet. Yngve Larsson besøkte NVE og orienterte Generaldirektør Fredrik Vogt om vannverdiberegninger på et møte i 1959, se nedenfor under NVE. Et norsk initiativ etter denne konferansen i 1961 kan stemme med at EFI startet med vannverdiberegninger i slutten av 1961 ved Arne Johannesen og at Hveding var utålmodig for å komme i gang i starten av 1963 og engasjerte Jan Husebye fra Norsk Regnesentral (NR) til dette, se omtale av NVE nedenfor.

11 EFI/SINTEF Energi baserte seg på svensk pionéarbeid

Da Arne Johannesen (født 1931) ble ansatt ved EFI høsten 1961 var vannverdiberegninger et av de første temaene han startet med. Han har fortalt meg at han likte best Lindqvist sin tilnæringsmetode. Arne Johannesen fikk etter hvert med seg dansken Bent Nielsen i dette arbeidet og de skrev en rapport EFI-TR-1177 i november 1962: "Langtidsplanlegging ved drift av samkjørende vannkraftverker (1-magasinmodell)" som beskriver problemformuleringen fra den tiden. Arne Johannesen var hovedforfatteren av denne rapporten. Referanselisten i denne rapporten er gjengitt på neste side.

1. ✓ Falck Jørgensen: "Strømrasjonering eller kraftoverskudd"?
ETT nr. 9, 1962.
2. ✓ Ruge: "Et teoretisk grunnlag for optimal drift
av vannkraftverk".
SI rapport av 10. mai 1962.
3. Blomqvist: "Vattenhushållning vid långtidsreglering".
SVKF publ. nr. 467, 1958.
- ✓ 4. "Elkraftsamarbete i Norden" (bok)
KVS, Stockholm 1961.
5. Darin m.fl.: "Principles of Power Balance Calculations
for Economic Planning and Operation of
Integrated Power Systems".
SVKF publ. nr. 476, 1959.
6. ✓ Lindqvist: "Driften av ett elektriskt produktions-
system - en flerstegs beslutsprocess".
Ref. 4, s. 156.
7. ✓ Stage, Larsson: "Incremental Cost of Water Power".
AIEE Trans. Aug. 1961, s. 361.
8. Lauritzen: "MAC textbook", 2 ed. Teknisk notat S00040.
Forsvarets Forskn.institutt, Lillestrøm.
9. Årsberetning for Samkjøringen på Östlandet.
1960/61.
10. Holmström: "Statistical Calculations for Planning the
Control of Power".
UNIPEDE Study Committee VIII.2 Lausanne 1958
11. Xeres, Pais: "Annual and Long-terms Methods of Utilising
the Water in Large Reservoirs....."
UNIPEDE Study Committee III.3 Baden-Baden
1961.
12. Pélissier
m.fl. : "La Simulation de la Gestion d'un Ensemble
de Centrales Hydrauliques et Thermiques".
RGE apr. 1962, s. 215.

Vi ser at boka fra samkjøringskonferansen i Stockholm i mars 1961 var en sentral referanse, og at Lindqvist, Stage/Larsson og Darin/Larsson sine artikkel nevnes eksplisitt. Johannesen/Nielsen brukte en kombinasjon av de to svenske modellene med tillempling til norske forhold. De beskriver det selv slik i rapporten, kap. 6:

6. Sifferregnemaskinprogram for vannverdiberegning.

Regnearbeidet ved den praktiske beregning av vannverdier er så omfattende at det bare lar seg gjennomføre på elektroniske sifferregnemaskiner. På dette felt er det utført et betydningsfullt pionerarbeide i Sverige [4] , [5] , og det program som blir beskrevet i det følgende bygger på en kombinasjon - samt en tillempling for norske forhold - av de to svenske metoder som senest er publisert [6] , [7] . Det er lagt vekt på å få et fleksibelt program, fordi man må regne med en del forsøkskjøring for å finne frem til den form som er mest velegnet for de enkelte nett.

Programmet er skrevet i MAC-koden for FFI's Ferranti Mercury Computer, Kjeller. [8]

Arne Johannesen kjørte tog til Kjeller for å programmere denne datamaskina som også gikk under navnet Frederic. Så både Larsson og Johannesen måtte kjøre lange strekninger med tog for å få tilgang til datamaskin.

EFI-modellen ble senere videreutviklet ved EFI/SINTEF Energi av Jan Hegge, Rolf Reitan, Henrik Evenrød, Erling Kylling, Arne Haugstad, m.fl.. Jeg vil spesielt påpeke at Arne Haugstad utførte et meget omfattende arbeid fra han ble ansatt ved EFI i 1979 til han ble syk høsten 2013 og døde tidlig i 2014. I dag videreføres arbeidet av modellansvarlig for EFI-modellene Birger Mo i samarbeid med Geir Warland, Knut Erik Høyen, m.fl..

Jan Hegge (født 1933) begynte ved EFI i 1962. Han har fortalt meg at han samarbeidet med svenske aktører innen VAST hvor blant andre Skandinaviske elverk (SEV) ved Gøran Lindstrøm og Stockholms elverk var aktive. Lindstrøm var på besøk ved EFI ved flere anledninger og ifølge Hegge var Ryman en god kamerat av EFIs direktør Olav S. Johansen. Samtaler mellom Ryman/Johansen førte til at EFI benyttet SEV's modell KR70 i analyser for Nord Trøndelag Elektrisitetsverk (NTE). Stage deltok også på møter når de var i Malmø. Hegge var på besøk en uke hos TVA i USA for å utveksle erfaring. EFI-TR-1221 "Optimalisering av drift av vannkraftverk - Foredrag på Industridagene ved NTH 1963" gir en interessant framstilling av Heggens arbeid. Jan Hegge kjørte også tog til Kjeller for å kjøre datamaskina Frederic i starten. Etter en stund fikk han tilgang til en flexo-writer på forsvarrets anlegg på festningen i Trondheim som hadde god forbindelse til FFI. Noe senere ble Gier, så Univac og deretter Nord-maskiner tatt i bruk. I dag brukes Unix- maskiner, superdatamaskin og PC'er. Jan Hegge var sekretær for EFI-komiteen "Økonomisk drift av vannkraftverk" og Jørgen Sørensen fra Statskraftverkene var komitéformann. Komiteen ble opprettet i januar 1965 og avsluttet med en foreløpig rapport, "Preliminær rapport fra komité for økonomisk drift av vannkraftverk", EFI-TR 1410, 19.januar 1968. Den endelige rapporten er: "Økonomisk drift av vannkraftverk – avsluttende rapport fra EFI-komiteen for økonomisk drift av vannkraftverk", TR A1609, SINTEF Energi, mars 1974.

EFI brukte vannverdimodellen til å analysere utbyggingsplanlegging for Otravassdraget.

Direktøren for Vest-Agder Energiverk, Olav Egeland, som den gang var prosjektleder for I/S Øvre Otra, var personlig meget engasjert i vannverdiberegninger og hadde mye kontakt med analysemiljøet ved EFI. Det foreligger to EFI rapporter fra denne planleggingen: EFI TR 1351, Undersøkelse av en rekke alternativ ved utbygging av Otra-vassdraget, del I, 1966 og EFI TR 1352 Undersøkelse av en rekke alternativ ved utbygging av Otra-vassdraget, del II, 1966.

Arne Johannesen og Hans Haakon Faanes har også en interessant artikkel fra 1968 som omfatter både korttidsplanlegging og langtidsplanlegging for Tokke kraftverk. Artikkelen har følgende tittel: "Economic Scheduling of a Hydroelectric System", Cigré Session de 1968, 10-20 juin 32-07. Faanes sier følgende om denne artikkelen i en e-post til meg:

"Den artikkelen som Arne og jeg skrev i 1968 (CIGRE 32-07) omhandlet først og fremst korttidsplanlegging. Langtidsplanleggingen bygget ikke på absolutte vannverdier, men en forenklet, relativ verdvurdering basert på risikoer for overløp og tomkjøring."

Hegge har fortalt at han husker at Bellman deltok på et møte i Sverige. Bellman var ifølge Hegge svært opptatt av utvikling av kunstig hjerte. Her kommer det inn en liten digresjon fra meg. Kan Rune Åslid ved NTH, Teknisk kybernetikk som utviklet den første analogregnemaskina for å simulere hjerte/karsystemet ha fått sin idé fra Bellman eller omvendt? (<https://www.ntnu.no/medisinsk/museum/ultral lyd/jenny>). Videre lurer Anders Gjelsvik på om Bellman kan ha fått idéen til formuleringen nederst på side 19 i sin bok fra 1971 fra det svenske vannverdimiljøet som han hadde kontakt med (ref. omtalen av vannverdimetoden foran i notatet). Dette er meget sannsynlig, men det får man nok aldri et svar på.

Reitan videreutviklet senere EFI-modellen og baserte denne videreutviklingen på Lindqvist sin metode, som også ligger til grunn for dagens modell. Der beregnes vannverdien med en tidsoppløsning på en uke. Jan Hegge har fortalt meg at han gjerne ville se en bedre representasjon av tregheten (autokorrelasjonen) i tilsiget i dagens vannverdiberegning og mener dette var bedre representert med Stage/Larssons metode med flere skritt framover i tid i vannverdiberegningens "indre loop" i den tidligere versjonen på Univac.

Jeg husker godt at Rolf Reitan og Einar Olaussen la inn tilsiget med sin treghet som en ekstra tilstandsvariabel i den nye varianten av vannverdimodellen etter innspill fra undertegnede. Jeg lagde min egen lille spesialmodell med tilsiget som ekstra tilstandsvariabel og løste beregningen med stokastisk dynamisk programmering. Resultatene fra denne modellen diskuterte jeg med Reitan/Olaussen og det førte til deres implementering i EFI-modellen. Jeg har fremdeles denne modellen liggende på en floppydisk fra en Nord-maskin (merket med året 1978). Reitan/Olaussen endte opp med å ta ut denne ekstra tilstandsvariable og erstatte den på en forenklet måte gjennom litt ekstra vektning av halene på frekvensfunksjonen for tilsiget for å øke variansen i tilsiget sammenliknet med den varians man får når man regner tilsiget for uavhengig fra uke til uke. Hvordan tilsigets korrelasjon både i tid og rom skal representeres på best mulig måte (innenfor en rimelig regnetid) blir sikkert et tema for fremtidige forskningsprosjekter.

Jeg vil også nevne at Anders Gjelsvik (født 1945) har implementert en modell for optimal drift av vannkraftverk basert på en spesiell form for stokastisk lineær programmering, SDDP – stokastisk dual dynamisk programmering. Vannverdimetoden har den velkjente ulempen at den ikke kan behandle systemer med mer enn to-tre magasin, da datakraftbehovet ellers blir for stort. Med SDDP kan en da ha en tilstandsvariabel for hvert enkelt kraftverk og får dermed individuelle vannverdier for de enkelte kraftverksmagasinene. Metoden ble utviklet av Mario Pereira og Leontina Pinto fra Brasil som Gjelsvik og flere ved SINTEF Energi har hatt god kontakt med. Gjelsvik tok utgangspunkt i deres metode. (Se Pereira og Pinto, "Multi-stage stochastic optimization applied to energy planning", Mathematical Programming, 1991 og Røtting og Gjelsvik, "Stochastic dual dynamic programming for seasonal scheduling in the Norwegian power system", IEEE Trans. Power Syst., vol 7, 1992). Etter dereguleringen av kraftmarkedet i Norge ønsket en ved optimalisering (for f.eks. et regionalt kraftselskap) å behandle kraftprisen som en stokastisk variabel

gitt utenfra. SDDP-metodikken fra Brasil ble derfor utvidet av Gjelsvik med en prisakse som blir håndtert ved hjelp av tradisjonell stokastisk dynamisk programmering. Modellen er beskrevet i en artikkel fra Power Systems Computation Conference (PSCC) i 1999, "An Algorithm for Stochastic Medium-Term Hydrothermal Scheduling under Spot Price Uncertainty", A. Gjelsvik, M. M. Belsnes and A. Haugstad, PSCC, 1999. Denne modellen er videreutviklet av flere ved SINTEF Energi og er i dag i praktisk bruk hos flere kraftselskap under navnet PRODRISK. Denne modellen er beregnet på planlegging på mellomlang sikt, og den trenger inngangsdata fra Samkjøringsmodellen vedrørende verdien av vannet i hele systemet ved slutten av beregningens optimaliseringsperiode. En prognose for ulike utfall for kraftprisen må også angis.

Ekspedisjonssjef Sigurd Tveitereid i OED, som var sosialøkonom, var meget opptatt av de økonomiske prinsippene bak vannverdiberegninger. Jeg kan huske at han kom ens ærend til Trondheim for å delta på et internt møte ved EFI hvor vi diskuterte utviklingen av vannverdimodellene.

Da Einar Steensnæs ble Olje- og energiminister i oktober 2001 inviterte Tveitereid meg til Statsrådets kontor for å orientere ham om vannverdiberegninger. Jeg var da adm. dir. ved SINTEF Energi og styremedlem i Statnett. Tveitereid mente tydeligvis at Steensnæs, som var utdannet cand.real innen fysikk, matematikk og geografi, var kapabel til å forstå de økonomiske prinsippene bak vannverdiberegninger – den økonomiske forvaltningen av våre vannkraftressurser. Jeg stilte opp på Statsrådets kontor i et møte som varte fra ca. kl. 16 til 18 og det ble en meget interessant meningsutveksling etter min presentasjon.

Så kommer en morsom videreføring av dette møtet. Statsråden dro rett etter møtet sammen med kongeparet til Brasil der de blant annet deltok på en olje/gass-konferanse hvor konserndirektøren i SINTEF, Morten Loktu, og min eneggede tvillingbror Oddvar Aam (som da var adm. dir. ved MARINTEK) deltok. Min bror satt på første rad da statsråden ankom den kongelige mottakelsen og ble synlig forbauset over å se Aam på disse trakter og uttrykte undrende: "Nei men er du her også?" "Ja", var det korte svaret fra min bror, uten å reflektere noe mer over spørsmålet. Noe seinere i arrangementet holdt han foredrag om olje/gassvirksomhet og marin virksomhet med Steensnæs og Loktu sittende ved side av hverandre på første benk. Da Statsråden hadde hørt Aams innlegg sa han til Loktu: "Han kan mye han der." Han trodde selvfølgelig at det var samme karen som nettopp hadde holdt foredrag for ham i Oslo om vannverdiberegninger. Det hører med til historien at Loktu forklarte at det var to ulike personer han hadde truffet – så da falt nok brikkene på plass for Statsråden.

Så en digresjon om min egen bakgrunn til slutt i dette kapitlet. Magne Fjeld holdt på en del med utvikling av hydrologiske modeller på slutten av 60-tallet og begynnelsen av 70-tallet. Blant andre tok Alf Egil Holmelid, som senere ble stortingspolitiker for SV, diplomoppgave innen utvikling av en fysisk basert hydrologisk modell. Det samme gjorde Olav Høgetveit som var med å skape TV programmet Schrødingers katt for NRK TV. Jeg tok diplomoppgaven på Teknisk kybernetikk for Magne Fjeld og professor Rolf Henriksen våren 1972. Jeg brukte bakovergående stokastisk dynamisk programmering for å optimalisere driften av et kraftverk med en enkel tidsseriemodell for å ta hensyn til tregheten i tilsiget. Programmet ble utviklet i Algol for en Gier-maskin som sto i kjelleren på Teknisk kybernetikk, NTH og input-mediet var hullbånd (papirstrimler). Det ble skrevet en artikkel om dette i 1973: M. Fjeld, S.L. Meyer, S. Aam: "Mathematical Modelling of a Nordic Hydrological System and the Use of a Simplified Run-Off Model in the Stochastic Optimal Control of a Hydroelectrical Power System". Proceedings of the 5th IFIP Conference Optimization Techniques held in Rome May 7-11, 1973, Springer-Verlag, New York 1973.

Magne Fjeld skrev et diskusjonsnotat om vannverdiberegninger som er omtalt i starten av denne rapporten, Teknisk notat, 72-90-S, SINTEF. Notatet ble skrevet etter et diskusjonsmøte om hydrologiske modeller og vannverdiberegninger som ble holdt i Trondheim 25. april 1972, se forordet i notatet. Jeg føler meg sikker på at det var Arne Johannesen sin nysgjerrighet rundt Fjeld sine utfordrende uttalelser i dette møtet som førte til at jeg fikk jobb ved EFI i august 1972, etter at jeg var ferdig med diplomoppgave den sommeren. Så jeg kan

nok takke Magne Fjeld, Arne Johannesen og "vannverdien" for at jeg fikk jobb ved EFI og at jeg dermed ble adm. dir. ved EFI/SINTEF Energi fra oktober 1994 tom desember 2010.

Når det gjelder Magne Fjeld sitt notat vil jeg bemerke at han tar feil i sitt punkt a) midt på side 30. Høy/lav magasinifylling vil ikke gjenta seg neste år grunnet påvirkningen av maks/min magasingrense. Fjeld har oversett denne virkningen av magasingrensene. Ellers er det mye interessant i notatet, blant annet forklaringen av vannverdimetoden.

Mitt arbeid ved EFI rett etter at jeg ble ansatt dreide seg mye om utvikling av hydrologiske modeller og en modell for å prognosere elforbruket på timesbasis den nærmeste uken for samkjøringen og andre e-verk. Videreutviklede versjoner av disse programmene selges i dag kommersielt av Powel. Jeg anvendte også vannverdiprogrammet mye i forbindelse med såkalte energigrunnlagsberegninger for en del kraftselskap.

12 NVE/Statkraftverkene baserte seg på svensk pionéarbeid

NVE/Statkraftverkene holdt på med vannverdiberegninger tidlig på 60-tallet. Dette er beskrevet av Yngve Nilsen og Lars Thue i Bind III av historien til Statens Kraft, side 43-46. Der omtales deres interne virksomhet, og virksomheten til EFI etter 16.03.64 blir også omtalt i betydelig grad. Jeg tolker teksten slik at EFIs virksomhet før den tid, fra høsten 1961, ikke blir omtalt.

Jeg har fått en lang og meget interessant e-post fra Yngve Larsson som skriver følgende om NVE:

"Avslutningsvis vill jag berätta att Sydkraft omkring 1960 (senere rettet til 1959 i egen e-post fra Larsson) förhandlade om kraftleveranser från Norge. Vi hade då kontakt med främst Generaldirektören för NVE Fredrik Vogt. Han var gammal professor i vattenbyggnad och blev mycket intresserad av den beräkningsteknik för optimering av utnyttningen av kraftverkens magasin som vi utvecklat. Han önskade mer information. Jag fick i uppdrag att resa till Oslo och det kändes stort när jag som ung ingenjör kom till NVE:s kontor och det var generaldirektören som tog emot!"

Dette tyder på at Generaldirektør Fredrik Vogt, NVE fattet interesse for vannverdimetoden i 1959.

Jeg har spurt Hans Haakon Faanes om han kan huske noe av historien ut over det som Nilsen/Thue beskriver i historieboken til Statkraft. Han anbefalte meg å ta kontakt med Jan Husebye. Som respons på min kontakt, har Husebye skrevet et notat på vel 4 sider som handler om hans engasjement innen datateknologi for flere bransjer rundt 1960, inklusive kraftbransjen. Den interesserte leser bør absolutt lese hele dette bidraget som finnes på filkatalogen som er omtalt nedenfor. I notatet skriver Husebye følgende om de første vannverdiberegningene i NVE:

"Kort tid etter at undertegnede returnerte fra Dansk Regnesentral (RC) i København over nyttår 1963 var det et møte mellom NVE v/adm. direktør Vidkunn Hveding og Norsk Regnesentral (NR) i NR sine lokaler på Fornebu. Foruten undertegnede møtte forskningssjef Kristen Nygaard samt en annen forsker ved NR. NR hadde noen måneder tidligere fått forespørsel om å lage vannverdiberegninger basert på en svensk tidsskriftsartikkel som jeg hadde fått utlevert noen dager før møtet. Oppdraget hadde blitt liggende og Nygaard hadde grunnlagt det med at det var en vanskelig forskningsoppgave og foreslo at utviklingen skulle foretas av en gruppe med ham selv som prosjektleder og vi to andre møtedeltakere som medarbeidere. Nygaard anslo at utarbeidelse av en ferdig modell ville ta ca 2 år. Hveding presiserte at det var for sent. Han grunngar dette med at svenskene på dette tidspunktet brukte vannverdiberegninger aktivt i sine prisforhandlinger med Norge hvor Sverige leverte nattekraft fra sine varmekraftverk og Norge leverte overskuddskraft fra kraftverkene på Østlandet på dagtid. Jeg bemerket på møtet at en modell for vannverdiberegninger kunne ferdigstilles i løpet av tre uker. Tre uker på dagen deretter møtte jeg på Hvedings kontor og gjennomgikk resultater basert på overleverte testdata."

Denne første vannverdmodellen, som ble utviklet for NVE, ble programmert i Algol på en Gier-maskin ved RC i København som NR hadde tilgang til, se notatet til Husebye om datamaskinutviklingen i Norge. Hveding dro til Kuwait en periode og da opphørte arbeidet med vannverdiberegninger et par år. Etter at Hveding kom tilbake i 1965 ble arbeidet med vannverdier gjenopptatt og Husebye, som da hadde startet eget datafirma, utførte slike beregninger for NVE (Hveding) og andre kraftselskap fram til ca. 1970. Dette er beskrevet i Husebyes notat. På forespørsel fra Hans Haakon Faanes laget Husebye i ca. 1970 en Fortran modell tilpasset NVEs egen CDC 3200 datamaskin som Statkraftverkene begynte å bruke i egen regi, sannsynligvis fram til ca. 1975. Når det gjelder virksomheten etter 1970 har Faanes i e-post til meg skrevet følgende:

"Hveding benyttet Rieverts sin modell, Jarsim, frem til han sluttet som Generaldirektør i 1975. Etter det tror jeg ikke det skjedde så mye på denne fronten i Statkraft."

Faanes har i e-post til meg gitt meg følgende informasjon om NVE-modellene:

- 1) I Husebyes første modell foregikk simuleringene også i en en-magasinmodell.
- 2) Versjon 2 av Husebye-modellen var en en-magasin vannverdmodell med en etterfølgende 8 magasin (6?) simuleringsmodell. De 8 magasinene var sortert etter reguleringsgrad, slik at de best regulerte magasiner (flerårsmagasiner) var slått sammen og plassert i ett modellmagasin, de øvrige gruppert etter fallende reguleringsgrad. Tappestrategien i simuleringen var at man tilstrebet lik gjenværende reguleringsgrad. (Wessels parallellsimulering)
- 3) Programmet Jarsim hadde en en-magasin vannverdmodell (sannsynligvis en kopi av Husebye modellen). Den etterfølgende serie/parallell simuleringsmodell representerte den fysiske virkelighet i stor grad. Jeg er usikker på detaljene i tappestrategien. Jarsim var utviklet av Johan Rieverts på eget initiativ mens han var ansatt i Statkraftverkene. Hveding var en stor bruker av Jarsim (m/simuleringsdel). Konsulentselskapet til Rolf Høyner brukte også Jarsim (i forbindelse med oppdrag for Sira-Kvina). Bruksområde var vurdering av nye utbyggingsprosjekter, ikke drift.

Hveding har tre interessante publikasjoner om vannverdiberegninger fra 1960 tallet. Han har to påfølgende artikler på norsk i "Elektroteknisk tidsskrift" nr. 25 (side 517-525) og nr. 26 (side 549-553), 1967. Videre har han en engelsk artikkel, "Digital simulation techniques in power system planning", V. Hveding, Economics of Planning 1968;8(2):118-39.

Asbjørn Vinjar, Jon Tveit og Kjell Køber har skrevet en interessant rapport om blant annet bruk av vannverdimetoden i NVE fram til 1967: "Planlegging av elforsyningens produksjonsapparat - En redegjørelse om arbeidet som er utført på dette området ved Elektrisitetsavdelingen frem til 1.1.1977". På side 9 under punkt 11 skriver de:

"Hveding gjennomførte våren 1963 endel modellundersøkelser, med assistanse av Norsk Regnesentral. Høsten 1963 forelå en beskrivelse av metoden (1)."

Dette stemmer med den beskrivelsen Jan Husebye har gitt ovenfor. På side 8 under punkt 10 skriver de:

"I 1960-62 da professor Hveding var administrerende direktør i NVE, innførte han den svenske metoden i Norge, om enn med litt avvikende syn på verdien av ikke levert kraft i mankosituasjoner."

Jeg lurte på om Hveding hadde innført vannverdimetoden før han engasjerte Jan Husebye i 1963 og ba Faanes drøfte dette med Jon Tveit. Etter hans dialog med Tveit fikk jeg følgende svar fra Faanes:

"Jeg har videreformidlet e-posten til Jon Tveit, og deretter hatt en prat med ham. Jon Tveit begynte hos Vinjar i 1964, Kjell Køber i 1961. Køber drev i de første årene med nettplanlegging. Vinjar selv var aldri inne i vannverdiberegninger. Konklusjonen blir da at Hveding i årene 1960-63 kjørte vannverdiprojektet sammen med Jan Husebye uten at noen flere var involvert."

Husebye har fortalt meg at han ikke kjente til noen virksomhet ved NVE før han startet tidlig i 1963, ref. e-post til meg hvor han skriver:

"Kan ikke bidra noe her. Mitt møte med Hveding på NR tidlig i 1963 var mitt første møte med NVE overhode".

Ut fra dette konkluderer jeg med at sannsynligvis hadde Hveding det klart for seg at han burde innføre vannverdiberegninger allerede i 1960, men han gjennomførte det først tidlig i 1963.

13 Tidslinjer

Nedenfor følger en tidslinje for utvalgte dokumenter som har stor betydning for utviklingen av vannverdiberegninger:

- Artikkelen til Pierre Massé fra 1944 i Journal de la société statistique de Paris. Der presenterte han et konsept for vannverdiberegning og eksempel på beregningsresultater. Ifølge Gjelsvik var han fullt oppmerksom på bidrag fra uregulert tilsig, men han hadde ikke det med i beregningene. Han beskrev heller ikke de beregningstekniske prosedyrene.
- Doktorgraden til John D. C. Little ved MIT fra februar 1954 og artikkel i Journal, Operation Research Society of America, mai 1955. Der løser han samme optimaliseringsproblem som man gjør med vannverdiberegning. Han inkluderer også modellering av tregheten i tilsiget (autokorrelasjonen). Han bruker imidlertid klassisk Stokastisk Dynamisk Programmering og ikke det samme marginalprinsippet som vannverdimetoden bygger på.
- Artikkelen til Stage og Larsson fra 1957:9 i Svenska Vattenkraftföreningens Publikationer, Publ. Nr. 464. Der beskrives beregning av minimizon og vannverdibegrepet introduseres av Stage i Vedlegg 3 og 4.
- Artikkelen til Darin, Larsson, m.fl. fra 1959:11 i Svenska Vattenkraftföreningens Publikationer, Publ. Nr. 476. Der gis en omfattende beskrivelse av beregning av minimizon og vannverdier.
- Artikkelen til Stage/Larsson som ble presentert på World Power Conference i Madrid i juni 1960. Der gir ifølge Larsson Stage/Larsson sin første helhetlige beskrivelse av hele konseptet for beregning av minimizon og vannverdier.
- Artikkelen til Stage/Larsson til AIEE som ble levert inn 21. mars 1960 og endte opp i AIEE Transactions i august 1961. Dette er en mye referert artikkel om vannverdiberegning.
- Artikkelen til Lindqvist til AIEE som ble levert inn 8. juli 1960 og endte opp i AIEE Transactions i april 1962. Dette er også en mye referert artikkel om vannverdiberegning.

Jeg har utarbeidet en mer detaljert tidslinje for Stage/Larsson og Lindqvist sitt arbeid med beregning av "minimizon" og vannverdier. Tidslinjen for Stage/Larsson er korrekturlest av Larsson, mens jeg har noen egne hypoteser for tidslinjen til Lindqvist.

Tidslinjen for Stage/Larsson:

- Sven Stage hadde utarbeidet en rapport i 1948 (Publ. 400) der han brukte begrepet priset på siste kWh, sitat: "För at kunna angripa problemet införa vi begreppet pris *på sista kWh*. *Priset på sista kWh* i en viss tidpunkt är kostnaden per kWh för en liten belastningsökning i tidpunkten ifråga". Dette var ifølge e-post til meg fra Larsson deterministisk korttidsplanlegging og hadde i prinsipp ikke noe med vannverdimetoden å gjøre. Men tenkningen om marginalverdier kan ha vært en inspirasjon til Stage/Larsson sitt senere arbeid som ble publisert i Publ. 464, sept. 1957.
- Kraftbalanskommittén som ble etablert i 1955, med Ryman som leder, baserte seg på Stages arbeid. I hovedsak var sannsynligvis deres inspirasjon publ 464, 1957. Stage var ikke medlem av denne komitéen, men hadde løpende kontakt med komitéen fra etableringen i 1955 og informerte bl.a. om sin teori for beregning av "minimizon" og vannverdeberegning.
- Stage forsto at han måtte anvende datamaskin for slike beregninger og fikk med seg Yngve Larsson høsten 1956. Larsson ble sendt på programmeringskurs i BESK høsten 1956.
- I 1957 begynte Larsson å gjøre sine beregninger for å fastsette minimizon m.m. på Besk. Dette er beskrevet i Sydkrafts Personaltidning nr 2 1957, sannsynligvis utgitt i september 1957.
- Samtidig skrev Stage Publ. 464, sept. 1957, hvor han fikk med seg Larsson til å skive bilag 1 og 2, beregning av minimizon basert på statistiske metoder. I bilag 3 og 4 introduserer Stage, i henhold til e-post til meg, begrepet vannverdi.
- Larsson skriver i e-post til meg: "Jag lyckades inte omsätta Stages matematik till en praktisk beräkningsmetod. Det blev i stället den iterativa metod för bestämning av vattenvärde som senare beskrivs i flera publikationer. Detta torde ha varit i slutet av 1957 eller början av 1958 och antagligen skrev jag då ett första koncept."
- Larsson jobbet videre med iterative vannverdeberegning og tok med dette arbeidet inn i Kraftbalanskommittén hvor han var medlem.
- I Publ. 476, som er forfattet av medlemmene i Kraftbalanskommittén og som kom i slutten av 1959 er det både statistisk metode for beregning av minizon og den iterative metode for vannverdeberegning etablert.
- I følge Larsson selv leverte Stage/Larsson inn bidraget til World Power Conference litt tidligere enn Publ. 476 kom ut. Konferansen ble holdt 5-9 juni 1960 i Madrid og inneholdt beregning av minizon og vannverdeberegning.
- 21. mars 1960 leverte Stage/Larsson inn sitt manuskript til AIEE-Summer General Meeting som ble holdt 19. -24. juni 1960. Artikkelen med full diskusjon ble utgitt i AIEE-Transactions i august 1961. Da var den internasjonale presentasjonen av vannverdimetoden komplett.

Tidslinjen for Lindqvist:

- Min hypotese er at Lindqvist begynte med vannverdeberegninger i 1958, basert på bruk av en Facit EDB datamaskin. Sannsynligvis leida han datamaskinkapasitet på en maskin som ble etablert for utleie i Stockholm 1. oktober 1957.
- Videre antar jeg at Lindqvist baserte seg på Publ. 464 fra september 1957 og brukte tankegangen om marginalbetraktninger som var presentert der.

- Lindqvist basert seg også på Bellman og Little sin bruk av dynamisk programmering med total kostnad (og ikke marginalbetraktning) fra 1955, samt P. Masse, A. Dvoretzky, m.fl. innen lagerteori.
- Lindqvist leverte sin artikkel til AIEE 8. juli 1960 og den ble presentert på AIEE Power Industri Computer Application Conference 9. -11. november 1960 og kom i AIEE Transactions april 1962
- Lindqvist sier selv under avsnittet Application i sin AIEE artikkel at modellen har blitt brukt til flere hundre beregninger siden våren 1959 (min kommentar: dvs fra våren 1959 til 8. juli 1960 da manus ble levert inn).
- I sitt innlegg i boken "Elkraftsamarbeite i Norden" fra 1961 oppgir Lindqvist Stage/Larsson som referanse og ikke sin egen artikkel fra AIEE november 1960 som ble gjort tilgjengelig for "printing" 18. november 1960. Det kan være en spesiell anerkjennelse av Stage/Larsson som sin inspirasjon, eller rett og slett at hans artikkel ikke var tilgjengelig enda – selv om den var gjort tilgjengelig for "printing" hos AIEE.

14 Diskusjon og konklusjon

Pierre Massé, som senere i livet ble styreleder i EDF, var den første som lanserte vannverdimetoden allerede i 1944 før datamaskiner var tilgjengelig i praktisk bruk. Framstillingen var på fransk. Han hadde ifølge Anders Gjelsvik ved SINTEF Energi en omfattende presentasjon av metoden. Han var fullt oppmerksom på bidrag fra uregulert tilsig, men han hadde ikke det med i beregningene. Han beskrev heller ikke de beregningstekniske prosedyrene. Vannverdimetoden er basert på et "marginalprinsipp". Dette var grunnleggende for Massé. Sammenhengen med formell dynamisk programmering, som kan brukes for spesielle modellbeskrivelser, er beskrevet av Bellman i en bok fra 1971 ("Introduction to the mathematical theory of control processes," Vol. II, Academic Press, 1971, side 19). Denne metoden er rask for beregning av vannverdier på en datamaskin. Hvis jeg skal sammenlikne denne metoden med skigåing så kan jeg kalle den "skøytestilen".

John D. C. Little fra MIT løste i sin doktorgrad fra 1954 samme optimaliseringsproblem som man gjør med en vannverdigberegning. Han inkluderte også beskrivelse av tregheten (autokorrelasjonen i tilsiget). Little brukte klassisk, bakovergående Stokastisk Dynamisk Programmering som er beskrevet i Bellmans bok fra 1957 og tidligere publikasjoner som Little refererte til. Hvis jeg igjen skal sammenlikne denne metoden med skigåing så vil jeg kalle dette "klassisk stil". Little refererte ikke til Massé i sine to publikasjoner (doktorgrad+journal-artikkel), men jeg regner det som sikkert at han kjente til ham. Cypser ved MIT, som tok doktorgrad innen deterministisk modellering av vannkraftsystemet før Little, refererte til Massé – 1946, Vol. 1&2 i sin doktoravhandling og Little kjente til Cypers doktoravhandling. Kanskje Little's manglende referering kan skyldes at Massé sin artikkel og bok var skrevet på fransk eller at Massé brukte en "marginalformulering" som ikke Little kunne relatere til dynamisk programmering den gangen.

Sven Stage og Yngve Larsson fra Sydkraft (i dag en del av E.ON) hadde sin første komplette presentasjon av vannverdimetoden på World Power Conference i juni 1960. Artikkelen ble levert inn flere måneder før dette. Første versjon av deres ofte refererte artikkel fra AIEE ble levert inn 21. mars 1960 og ble gitt ut i AIEE Transactions august 1961. De beregnet vannverdier med en rekursiv beregningsteknikk som har mange likhetstrekk med bakovergående Stokastisk Dynamisk Programmering og "marginalprinsippet" til Bellman fra 1971, men som avviker litt i algoritmens "innerste loop" (går flere skritt framover og ikke bare ett). I tillegg beregnet de en såkalt minimizon som definerte hvor langt ned i kraftmagasinet vannverdien ble lik

dyreste termiske kraftproduksjonsenhet. Denne metoden kommer også under skibetegnelsen "skøytestilen". Det er mitt inntrykk at Stage/Larsson ikke kjente til arbeidene til Massé, Little og Bellman da de jobbet med sin metode fra 1957 til 1960. Yngve Larsson benyttet imidlertid Bellmans metode Dynamisk Programmering i sin publikasjon om deterministisk kortidsplanlegging i 1963.

John Lindqvist fra Vattenfall leverte inn sin mye refererte AIEE artikkel 8.juli 1960 og den ble gitt ut i AIEE Transactions april 1962. Han benytter "marginal-varianten" som Bellman beskriver i 1971, altså "skøytestilen". Han kjente til arbeidene til Massé, Little, Bellman og Stage/Larsson og referer til disse i sin AIEE artikkel. Lindqvist leverte sin AIEE artikkel bare tre og en halv måned etter Stage/Larsson leverte sin AIEE artikkel, så det var ganske tett løp mellom de to miljøene.

Hvem kommer så på pallen i tidsløpet?

Hvis vi slår sammen begge stilarter så blir Massé nr. 1, Little nr. 2, Stage/Larsson nr. 3 og Lindqvist havner på den sure fjerdeplassen.

Hvis vi holder "marginalversjonen" til Bellman som egen gren blir rekkefølgen: Massé nr. 1, Stage/Larsson nr. 2 og Lindqvist nr. 3, men det var et meget tett løp mellom Stage/Larsson og Lindqvist.

Jan-Erik Ryman og Göran Lindström fra Skandinaviska Elverk (i dag en del av Fortum) var aktive innen beregning av minimizon og vannverdiberegninger på slutten av 1950 tallet og begynnelsen av 1960 tallet. De baserte seg på Stage/Larsson sin metode.

EFI (i dag SINTEF Energi) begynte med vannverdiberegninger sent på høsten 1961 da Arne Johannesen ble ansatt. Han måtte i starten ta tog fra Trondheim til Lillestrøm for å kjøre beregninger på datamaskina Frederic på FFI. Johannesen skrev sin første rapport om vannverdiberegninger i november 1962. Han brukte en kombinasjon av Stage/Larsson og Lindqvist sine metoder. Utvikling av vannverdimodeller og tilhørende simuleringsmodeller ble et stort forskningsfelt ved EFI/SINTEF Energi. *De fleste kraftselskapene i Norden bruker i dag disse modellene både for driftsplanlegging og utbyggingsplanlegging.*

Vidkunn Hveding tok tidlig i 1963 initiativ til å starte opp vannverdiberegninger i regi av NVE. Han leide inn Jan Husebye fra Norsk regnesentral som utviklet den første modellen ved NVE i løpet av tre uker tidlig i 1963. Han benyttet Stage/Larssons metode. Dette er omtalt i et eget notat som Jan Husebye har skrevet til meg. Han har også skrevet en rapport om dette i juli 1965, "Et regnemaskinprogram til bruk i langtidsplanlegging av drift og prosjektering av vannkraftsystemer", EDB-Konsulent A/S og Norges Vassdrags- og elektrisitetsvesen, Statskraftverkene. NVE benyttet egne modeller hvor Jan Husebye og Johan Rieverts var sentrale personer bak utviklingen fram til ca. 1975. Vidkunn Hveding var selv en ivrig bruker av modellene og har presentert artikler om dette. Etter 1975 døde aktiviteten ut ved NVE.

Til slutt vil jeg peke på en liten kuriositet som Anders Gjelsvik har gjort meg oppmerksom på. Richard Bellman publiserte en "marginal-variant" av dynamisk programmering for spesielle systemer nederst på side 19 i en bok fra 1971. Denne "marginal-varianten" benyttet Massé allerede i 1944, Lindqvist i 1962 (AIEE) og Stage/Larsson i en spesiell form i 1961 (AIEE) i sine metoder for vannverdiberegninger. Jan Hegge fra EFI (nå SINTEF Energi) deltok på et seminar i Sverige med Bellman på 1960 tallet hvor temaet var anvendelse av dynamisk programmering. På dette seminaret ble ifølge Hegge vannverdimetoden presentert av en fra det svenske vannverdilmiljøet og metoden ble kommentert av Bellman. Gjelsvik lurer på om Bellman kan ha fått inspirasjonen til presentasjonen av "marginal-varianten" av dynamisk programmering i sin bok fra 1971 fra det svenske vannverdilmiljøet. Men det får vi nok aldri noe svar på.

15 Kilder

Undertegnede og Laila Aksetøy har skaffet det meste av den litteraturen som er omtalt i dette notatet. Det meste av litteraturen er referanser fra de mest aktuelle artiklene. Jeg har i tillegg skaffet kopi av fire bibliografier fra IEEE med aktuelle amerikanske referanser for henholdsvis periodene 1919-1959, 1959-1972, 1973-1978, samt en bibliografi fra 1982. Oversikt over filkatalogen med de aktuelle artiklene er gjengitt nedenfor:

<ul style="list-style-type: none"> Elkraftsamarbeidet i Norden S4_Erik_Sandström - Om TIDAS prosjektet i Vattenfall hvor Lindqvist nevnes 67_Kurt_Malm 1971 - Sammenlikning KR63 og Vattenfall modeller - Publ. 551 1982 - Bibliography - Aam-Hydrologisk modell Roma- 1973 Aam-Hydrologisk modell Roma- Forside Anders Gjelsvik - 1992 - Beskrivelse av vannverdimetoden - Hydropower 1992 Anders Gjelsvik - 1992 - Stochastic Dual Dynamic Programming Anders Gjelsvik - Forklaring vannverdimetoden og PRODRISK - Engelsk Anders Gjelsvik - Vannverdimetoden forklaring m.v. Anders Gjelsvik - ymse-vurderinger-aggi-vassv-0803-2016 Anders Gjelsvik, m.fl. - 1999 - PSCC - Metode for PRODRISK Arne Johannesen-Bent Nielsen-1962-EFI TR A1177 Arne Johannesen - Hans H Faanes - 1968 - Economic Scheduling of a Hydroelectric System Bellman - R352 - Bellman, Dreyfus - Applied Dynamic Programming, 1962 Bellman 1957 - Dynamic Programmin - Forside bok Bellman-1959 Bellman-Mathematical theory of control processes-II-skann-s10-19 Bent Nielsen-1963-Norsk hydro-EFI TR A1210 Bibliography - 1919 - 1959 Bibliography - 1981 - Del I - Oversikt for del II Bibliography - 1981 - Del II - 1959-1972 Bibliography - 1981 - Del III - 1973-1979 Bilde Sveire Aams vannverdimodell fra 1978 med tilsig som ekstra tilstandsvariabel Blomqvist 1958 Bok-Forside-1943-Economy Loading of Power Plants and Electric Systems Brudemell-Gilbreath-TVA-1959 Chandler-Dandeno-Glimm-Kirchmayer-Ontario-GE-1953 Cypser-1954 CYPSE-PhD-MIT-1953 Darin m fl - 1959 Documenting the Use of Computers in Swedish Society Dvořetzky, A., J. Kiefer, and J. Wolfowitz, The Inventory Problem I and II Economy Loading Research Study, Bonneville Power Administration, 1952 Elkraftsamarbeide i Norden - Innhold og Innledning - Matte mars 1961 en_sem_fort (sintefrd) () - Shortcut E-poster fra Yngve Larsson E-postutveksling med Hegge des 2015 Fjeld - vannverdimetoden - 1972 Fjeld-Meyer-Aam-Hydrologisk modell Roma- 1973 Fjeld-Meyer-Aam-Hydrologisk modell Roma- Forside Fosso, m.fl. - IEEE 1999 - Samkjøringmodellen Foto - IFP Roma 1973 - Aam, Meyer, Fjeld på 2 benk i bildet Framton-Floyd-Ontario-1947 Gesford - Karlin - 1958 Glimm-Kirchmayer-1958 Goran Lindström - 1994 - om Skandinaviske Elverks betydning for DATASAAABs historie på side 23 	<ul style="list-style-type: none"> Hegge, m.fl. - Cigre-1982- Samkjøringmodellen Hveding - 1967 - Driftsimulering av et kraftproduksjonssystem Hveding - 1968 - Digital simulation techniques in power system planning IBM Sweden History Interessante publikasjoner med mulig relevans for vannverdberegninger Jan Hegge-1963-TR A1221 Jan Husebye - e-post med Sveire Jan Husebye - te e poster til Sveire Aam Jan Husebye-Vannverdihistorik notat-2016-02-01 Judy L Klein om Bellman 14 mai 2007 Judy L Klein om Bellman 28 nov 2007 Kajser10 Killingveit-Aam-1974-EFI TR 2173-Undersøkelse av varians-Kraftverdberegninger Komite for økonomisk drift av vannkraftverk - Preliminær rapport EFI TR1410 - 1968 Komite for økonomisk drift av vannkraftverk-Engelsk sammendrag - TR-A1410 Koopmans 1957 Lane-TVA-1944-ERFD-3713 Lindqvist - 1961 - Elkraftsamarbeide i Norden - pp 156-170 Lindqvist - 1962 - Vannverdimetoden Lindqvist - etter 1963 - Optimized electric power production planning by digital computers in Sweden Little - 1955 - Journal Little 1954- Doctor Thesis - MIT Marginalvärdes bestämning - 1971 Masse - 1944 - JSFS 1944_85_204_0 Masse - 1946 - Fransk bok-Forside - Les Reserves et la Regulation De L'Avenir dans la Vie Economique Masse - 1946 - Utdrag av bok - Gammel og ny tenkemåte Masse - 1962 - French methods of planning Masse - Judy L Klein sin artikkel om hans arbeider Masse - Omtale av Judy L Klein sin artikkel om Masse og Masse - Referanser til Masse som pioner i diverse bøker Modigliani - Hohn - 1955 - Ref Gesford Karlin 1958 Pelisseier - 1962 Pereira - Pinto - 1991 Photos of Sven Stage and Yngve Larsson Re Application for references Re Oppstart av vannverdberegninger i NVE RE Request for old BPA publication, digitized copy (attached) RE Request for old BPA publications, one being digitized one attached Re Starten av ditt arbeide med vannverdberegninger Re Vannverdberegninger i Vattenfall på slutten av 1950-tallet RE Vattenfall och Facet EDB RE Vattenfalls first purchase of IBM650 RE Vattenfalls medvirkning i datautvikling Ricard-1940-Se diskusjon under Stage Larsson 1961 Ryman - 1961 - Elkraftsamarbeide i Norden - pp 129-155 Ryman - 1962 - Reiserapport fra studietur til USA og Canada i 1961 Ryman - Lindström - 1967 - Publ 526 - Långsiktiga investeringsbeslut Ryman, m.fl. - 1958 - Svenska vattenkraftföreningen årsmøte - Jan-Erik Ryman fra pp 143-186 	<ul style="list-style-type: none"> Sentrale vannkraft-referanser CYPSE-1953 Stage - 1948 - Control of Economic Loading - Translation by BPA 1951 Stage - 1948 - Translation to English in Sweden 1955 Stage - 1948 Stage - 1957 Stage - Larsson-1961 - Incremental Cost of Water Power Stage, S - World Power Conference, 1960 SV Tre gamle publikasjoner SV Viedigg til pdf-artikkel Tidskrift for Stage-Larsson og Lindqvist Utdrag av Statkrafts historie - Bind III Utskrift fra Tekniska museet om artikler fra Vattenkraftforeningen Vannverdimetoden sin historie-Sveire Aam-des 2015 VAST Utdrag ur Personligt präglat Vattenfalls personaltidning 1958 - Elvac III E Vinjar-Tveit-Kaber-1967-Planlegging av elforsyningens produksjonsapparat Von Eiff-Watchorn-1934 Wolfgang, m.fl. - Hydro reservoir handling in Norway... EMPS_2009 Yngve Larsson - 1962 - Publ 501 - Optimering av korttidsreglering i vattenkraftverk Yngve Larsson - 2009 - Sydskraft från insidan under 40 år Yngve Larsson - Bilaga 2007 - Sydskrafts personaltidning nr 2 1957 Yngve Larsson - e-post til Sveire Aam 2016-01-04 Yngve Larsson - Publ 475 - Årsmøte 1959 - Sjøregering och reservkraft Yngve Larsson - WEC 1971 Kopia av rapport Yngve Larsson-2007-Hans egen historiefremstilling Yngve Larsson-2007-Egen historie med bilag fra Sydskrafts personaltidning nr 2 1957 Årsmøte 1959
--	--	---

16 Takk

Jeg vil takke Jan Hegge, Hans Haakon Faanes, Arne Johannesen, Svante Färnbo, Peter Du Rietz og Laila Aksetøy for verdifulle innspill til dette notatet.

Jeg vil rette en spesiell takk til Yngve Larsson som i en alder av 87 år har kommet med viktige bidrag til meg via e-post om aktiviteten i Sverige og til Jan Husebye som har skrevet et omfattende notat om virksomheten i NVE/Statkraftverkene.

Videre vil jeg takke Anders Gjelsvik som har vurdert relevansen av bidrag fra ulike fagmiljøer.

17 Referanseliste

Arrow, KJ, Karlin, S, Scarf, H 1958, "Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production", pp. 179-200, Stanford University Press, Stanford, California.

Bellman, R 1957, "Dynamic Programming", Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Bellman, R 1971: "Introduction to the mathematical theory of control processes", Vol. II, Academic Press.

Cypser, RJ 1953, "The optimum use of water storage in hydro thermal electric systems", Sc. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

Darin, K, Larsson, Y, Lind, CE, Ryman, JE, Sjölander, B 1959, "Principles of Power Balance Calculations for Economic Planning and Operation of Integrated Power Systems", Publication no. 476, pp. 313-384, Svenska Vattenkraftföreningen.

Dvoretzky, A, Kiefer, J, Wolfowitz, J 1952, "The Inventory Problem: I, Case of Known Distributions of Demand," *Econometrica*, Vol. 20, April, pp. 187-222.

Dvoretzky, A, Kiefer, J, Wolfowitz, J 1952, "The Inventory Problem: II. Case of Unknown Distributions of Demand", *Econometrica*, Vol. 20, No. 3, Jul., pp. 450-466.

Egeland, O, Hegge, J, Kylling, E, Nes, J 1982, "The Extended Power Pool Model. Operation planning of a Multi-River and Multi-Reservoir Hydro-Dominated Power production System. A Hierarchical Approach", Cigré, Session – 1-9, September, paper 32-14.

Faccarello, G & Sturn, R (Editors) 2014: "Studies in the History of Public Economics", pp. 173, Routledge.

Fjeld, M 1972: "Dynamisk programmering og dens bruk ved drift av vannkraftsystemer", Teknisk notat, 72-90-S, SINTEF avd. Reguleringssteknikk, Trondheim.

Fjeld, M, Meyer, SL, Aam, S 1973, "Mathematical Modelling of a Nordic Hydrological System and the Use of a Simplified Run-Off Model in the Stochastic Optimal Control of a Hydroelectrical Power System". Proceedings of the 5th IFIP Conference Optimization Techniques held in Rome May 7-11, Springer-Verlag, New York.

Fosso, OB, Gjelsvik, A, Haugstad, A, Mo, B, Wangensteen, I 1999, "Generation scheduling in a deregulated system. The Norwegian case", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 14, No. 1, February.

Gessford, JE 1957, "The Use of Reservoir Water for Hydroelectric Power Generation", Dissertation, Stanford University.

Gjelsvik, A, Røtting, TA, Røystrand, J 1992, "Long-term scheduling of hydro-thermal power systems", *Hydropower'92*, Broch & Lysne (eds) Rotterdam: Balkema.

Gjelsvik, A, Belsnes, MM, Haugstad, A 1999, "An Algorithm for Stochastic Medium-Term Hydrothermal Scheduling under Spot Price Uncertainty", PSCC.

Grafström, E (redaktør) 1961, "Elkraftsamarbete i Norden", Kungl. Vattenfallsstyrelsen, Stockholm.

Happ, HH, et al., 1981, "Description and Bibliography of Major Economy-Security Functions Part I – Descriptions", IEEE Working Group Report, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 1, January, pp. 211-214.

Happ, HH, et al., 1981, "Description and Bibliography of Major Economy - Security Functions, Part II - Bibliography (1959 - 1972)", IEEE Working Group Report*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 1, January, pp. 215-223.

Happ, HH, et al., 1981, "Description and Bibliography of Major Economy - Security Functions, Part III - Bibliography (1973 - 1979)", IEEE Working Group Report*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 1, January, pp. 224-235.

Hegge, J 1963, "Optimalisering av drift av vannkraftverk - Foredrag på Industridagene ved NTH 1963", EFI-TR-1221, SINTEF Energi AS.

Hegge, J 1968, "Preliminær rapport fra komité for økonomisk drift av vannkraftverk", EFI-TR 1410, SINTEF Energi AS.

Hegge, J 1974, "Økonomisk drift av vannkraftverk – avsluttende rapport fra EFI-komiteén for økonomisk drift av vannkraftverk", TR A1609, SINTEF Energi AS.

Husebye, J 1965, "Et regnemaskinprogram til bruk i langtidsplanlegging av drift og prosjektering av vannkraftsystemer", EDB-Konsulent A/S og Norges Vassdrags- og elektrisitetsvesen, Statskraftverkene, Juli.

Husebye, J 2016, "Vannverdihistorikk i NVE/Statkraftverkene 1963 – ca. 1970", Notat skrevet til Sverre Aam. Lagret ved SINTEF Energi AS.

Hveding, V. 1967, "Driftssimulering av et kraftproduksjonssystem", Elektroteknisk tidsskrift nr. 25, pp. 517-525 og nr. 26 pp. 549-553.

Hveding, V 1968, "Digital simulation techniques in power system planning", Economics of Planning, Vol 8, no. 1-2, pp. 118–139.

Johannesen, A & Nielsen, B 1962: "Langtidsplanlegging ved drift av samkjørende vannkraftverker (1-magasinmodell)", EFI-TR-1177, SINTEF Energi AS.

Johannesen, A & Hegge, J 1966, "Undersøkelse av en rekke alternativ ved utbygging av Otra-vassdraget", del I, EFI TR 1351, SINTEF Energi AS.

Johannesen, A & Hegge, J 1966, "Undersøkelse av en rekke alternativ ved utbygging av Otra-vassdraget", del II, EFI TR 1352, SINTEF Energi AS.

Johannesen, A & Faanes, HH 1968, "Economic Scheduling of a Hydroelectric System", Cigré Session, 10-20 juin 32-07.

Kaijser, A 2011, "The Use of Computers for Controlling Electricity Flows in Sweden, 1950–1980", History of Nordic Computing 3, Springer.

Klein, JL 2007: "Rules of Action for War and Recursive Optimization: Massé's "Jeu des Réservoirs" and Arrow, Harris, and Marschak's "Optimal Inventory Policy", Chapter 4 of Protocols of War: The Mathematical Nexus of Economics, Statistics, and Control Engineering 1940-1960, Klein: Rules of Action, 5/27/07. Kan søkes på Internett.

Klein, JL 2007: "Cold War, Dynamic Programming, and the Science of Economizing: Bellman Strikes Gold in Policy Space", For Presentation at the First Annual Conference on the History of Recent Economics (HISRECO) University of Paris X -Nanterre, France 21-23 June. Kan søkes på Internett.

Koopman, TC 1958, "Water Storage Policy in a Simplified Hydroelectric System", Paper no. 115, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New Haven, Conn.

Larsson, Y 1957, "Driftsbyrån räknar på BESK", Sydkrafts personaltidning nr 2, Artikkelen finnes ved Tekniska Museet, Stockholm.

Larsson, Y 2007, "Den första användningen av datorer inom Sydkraft (EON Sverige)", Notat ved Tekniska Museet, Stockholm.

Larsson, Y 2009, "Sydkraft från insidan under 40 år, 1952-1992", Notat hos E.ON Sverige AB (tidligere Sydkraft).

Lindstöm, G 1994, "Bits & Bytes ur DATASAABs historia, Tema D21", pp. 23-30, Tryckeriet Erik Larsson AB, Linköping.

Lindqvist, J 1962, "Operation of a Hydrothermal Electric System: A Multistage Decision Process", Power Apparatus and Systems, Part III, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers (AIEE), Volume 81, Issue 3, April, pp. 1-6.

Lindqvist, J & Tyrén, L ca 1965 "Optimized Electric Power Production Planning by Digital Computers in Sweden", Statens Vattenfallsverk Bibliotek, Stockholm.

Little, JDC 1955, "The Use of Storage Water in a Hydroelectric System", Journal, Operations Research Society of America, Md., no. 2, May, pp. 187-197, Baltimore.

Little, JDC 1954, "The Use of Storage Water in a Hydroelectric System", Doctor of Philosophy Thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Massé, P 1944: "Application des probabilités en chaine a l'hydrologie statistique et au jeu des réservoirs", Journal de la société statistique de Paris, tome (85), p 204-219.

Massé, P 1946: "Réserves et La Régulation de L' Avenir Dans La Vie Economique", Vol 1 & Vol 2, Herman & Cie, Paris.

Massé, P 1962: "Optimal investment decisions; rules for action and criteria for choice", Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall.

Nebeker, F 1996, "JANIS BUBENKO, an oral history conducted in 1996 by Frederik Nebeker", IEEE History Center, Hoboken, NJ, USA.

Nilsen, Y & Thue, L 2006, "Statens kraft 1965-2006", Bind III av Statkrafts historie, Universitetsforlaget, pp. 43-46.

Pereira, MVF & Pinto, LMVG 1991, "Multi-stage stochastic optimization applied to energy planning", Mathematical Programming 52, pp. 359-375, North-Holland.

Ryman, JE 1958, "Samspelet mellom vattenkraft, konventionell varmekraft og atomkraft – Princiell teknisk-ekonomisk jämförelse". Svenska Vattenkraftföreningen, referatet fra Årsmötet, pp. 143-188.

Ryman, JE 1962, "Elektroniska datmaskiner vid drift av kraftverk och kraftsystem", Svenska Vattenkraftföreningens publikationer no 490.

Rötting, T & Gjelsvik, A 1992, "Stochastic dual dynamic programming for seasonal scheduling in the Norwegian power system", IEEE Trans. Power Syst., vol 7.

Sachdeva, SS 1982, "Bibliography on optimal reservoir drawdown for the hydroelectric-thermal power system operation", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 6 June, pp. 1487-1496.

Sandström, E 2007, "EN RESA I TIDAs – några händelser och personer", Notat ved Tekniska Museet, Stockholm.

Sandström, U 1985, "Kraftbörsen öppnades via VAST, Utdrag ur Personligt präglat, Svenska kraftverksföreningens 75-årsjubileum, pp. 85-95.

Schuman, C 2016, "IBM Sweden History", Reference desk, IBM Corporate Archives, Route 100/CSB, Somers, NY 10589, archive1@us.ibm.com, Notat foreligger hos SINTEF Energi AS.

Stage, S 1948, "Kontroll av körningen av ett större kraftsystem", Publication no. 400, pp. 1-44, Svenska Vattenkraftföreningen, Stockholm.

Stage, S 1948, oversatt til engelsk av Bonneville Power Administration 1951, Translated from Swedish by John I. Holbeck, Electrical Engineer: "Control of economic loading of a big hydro and thermal power system/ Kontroll av körningen av ett större kraftsystem", BPA Library, C1, BOX 0251 BPA3501 1948.

Stage, S 1955, svensk oversettelse av artikkel fra 1948, "Control of the economic loading of a large hydro and thermal power system", Publication no. 454, pp. 173-220, Svenska Vattenkraftföreningen, Stockholm.

Stage, S 1957, "Utnyttningen av vattenkraftverkens långtidsmagasin", Publication no. 464, pp. 145-224, Svenska Vattenkraftföreningen, Stockholm.

Stage, S & Larsson, Y 1960, "Utilization of Long Term Storage in Combined Hydro and Thermal Power Systems", World Power Conference, June, Madrid.

Stage, S & Larsson, Y 1961, "Incremental Cost of Water Power", Trans. AIEE, August, pp. 361 – 365.

Szenberg, M & Ramrattan, L 2004, "Reflections of Eminent Economists", Edward Elgar Publishing, pp. 280.
Vinjar, A, Tveit, J, Køber, K 1967, "Planlegging av elforsyningens produksjonsapparat - En redegjørelse om arbeidet som er utført på dette området ved Elektrisitetsavdelingen frem til 1.1.1977", NVE.

Wiklund, L, Hansson, S, Lindström, G, Modén, L, Persson, P 1971, "Bestämning av marginalvärden för körning och kraftutbyten", Svenska kraftverksföreningens publikationer, publ. 551, pp. 175-206.

Wolfgang, O, Haugstad, A, Mo, B, Gjelsvik, A, Wangensteen, I, Doorman, G 2009, "Hydro reservoir handling in Norway before and after deregulation", Elsevier, Volume 34, Number 10, ISSN 0360-542.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no