

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

78028-06

FLEIRMÅLSPLANLEGGING MED LINEÆR PROGRAMMERING

I LENAELVA

Saksbehandler: Kjell Øren

For administrasjonen: Lars N. Overrein
J.E. Samdal

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer:	78028
Undernummer:	III
Løpenummer:	1336
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: Fleirmålsplanlegging med lineær programmering i Lenaelva.	Dato: 16. november 1981
Forfatter(e): Kjell Øren	Prosjektnummer: 78028-06 81431-02
	Faggruppe: SEKVRF
	Geografisk område: Oppland/Akershus
	Antall sider (inkl. bilag): 90

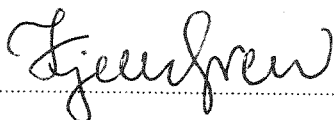
Oppdragsgiver: Ressursavdelingen, Miljøverndepartementet Norsk institutt for vannforskning	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Ein deterministisk, lineær programmeringsmodell er nytta til fleirmålsplanlegging i Lenavassdraget. Føremålet er ei første utskiljing av interessante alternativ for vidare detaljstudiar. Resultata er framstilte med bruk av verdiprofil. Rapporten skisserer aktuelle, konkrete løysingar i vassdraget.

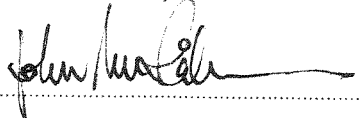
4 emneord, norske:
1. fleirmålsplanlegging
2. lineær programmering
3. vassbruksplanlegging
4. Lenaelv
Vannbruksplanlegging

4 emneord, engelske:
1. multiobjective planning
2. linear programming
3. water planning
4. Lena river

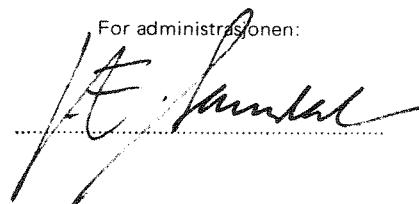
Prosjektleder:



Seksjonsleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-0440-7

F Ø R E O R D

I 1978 starta planlegginga av eit "integrert vassdragsprosjekt" ved NIVA som ein lekk i NIVAs arbeid med vassbruksplanlegging. Dette integrerte prosjektet består av fleire sjølvstendige delprosjekt. Denne rapporten omhandlar eitt av desse prosjekta, som er utført i 1980 og 1981.

Rapporten er forsøkt utforma slik at resultatata lettast mogeleg kan bli til nytte i konkret, vidare arbeid.

Prosjektet har fått økonomisk støtte frå Ressursavdelingen i Miljøvern-departementet. NIVA har i tillegg nytta egne forskningsmidlar.

Under arbeidet har det vore samarbeid med Norges vassdrags- og elektrisitetvesen (NVE), som også har laga ein del av grunnlagsmaterialet. Siv.ing. Marit Flood har utarbeidd kostnadstal for dammar og overføringsleidningar, og cand.real Lars Roald har bidradd med oversyn over karakteristiske vassføringar. I tillegg har fil.kand. Dan Lundquist, cand.real. Nils Roar Sælthun og cand.real. Bo Wingård, alle frå NVE, delteke i prosjektmøte.

Fiskeriteknikar Ole Nashoug har gitt alle data om nødvendige minstevassføringar.

Ved NIVA er arbeidet med delprosjektet utført av siv.ing. Kjell Øren. Siv.ing. Haakon Thaulow og seinare siv.ing. John M. Råheim har leia hovudprosjektet og delteke i møta med NVE. Rapporten er maskinskriven av sekretær Inger Johanne Gustavsen.

Vi rettar ei takk til alle medarbeidarane for godt utført arbeid.

Oslo, 21. august 1981



Kjell Øren

INNHALD

	<u>Side:</u>
FØREORD	1
INNHALD	2
1. INNLEIING	6
2. BRUK AV MODELLAR I VRF	8
2.1 Overordna prinsipp	8
2.2 Hovudgrupper av modellar	9
2.3 Val av modellar	10
3. SKILDRING AV LENA VASSDRAGET	12
3.1 Nedbørfeltet	12
3.2 Klima, hydrologi	13
3.3 Brukskonfliktar i vassdraget	14
4. VURDERINGAR KRING UTVALSMODELLEN	19
4.1 Avgrensing av omfanget	19
4.1.1 Kvantitet kontra kvalitet	19
4.1.2 Tidsoppløysing - stokastisk kontra deterministisk modell	19
4.1.3 Geografisk oppløysing	24
4.2 Modellskisse	24
4.3 Løysingsmetode	24
5. FORMULERING AV FLEIRMÅLS LP-MODELL	27
5.1 Generell målformulering	27
5.2 Presisering av målformuleringar	28
5.2.1 Noverdi av netto kostnad (COST)	28
5.2.2 Energiproduksjon i nedbørfeltet (ENG)	29
5.2.3 Vatna dyrka areal i nedbørfeltet (IRR)	29
5.2.4 Import av vatn til nedbørfeltet frå Vestre Toten og Hurdal kommunar (IMP)	29
5.2.5 Fleksibilitet overfor endra krav og føre- setnader (FLEX)	30

<u>Innhald (forts)</u>	<u>Side:</u>
5.2.6 Vern av Vindflomyra (PROT)	30
5.2.7 Minstevassføringar (FLOW)	30
5.2.8 Leveranse av drikkevatt til Vestre Toten (WAEXP)	30
5.2.9 Vassforsyning (DRINK)	30
5.3 Formulering av føresetnader	30
5.4 Generell matematisk modellformulering	31
5.5 Storleiken på LP-modellen	32
6. RESULTAT	33
6.1 Spesielle føresetnader	33
6.2 Situasjon A	33
6.2.1 Hovudresultat - situasjon A	33
6.2.2 Praktiske konsekvensar - situasjon A	35
6.3 Situasjon B	45
6.3.1 Hovudresultat - situasjon B	45
6.3.2 Praktiske konsekvensar - situasjon B	45
6.4 Vurdering av utsagnskraft	53
7. FØREBELS PROSJEKTVURDERINGAR	54
7.1 Generelt	54
7.2 Vurdering av konkrete tiltak i Lenavassdraget	54
7.3 Generelle vurderingar av prosjektet	55
7.4 Vidare arbeid	56
8. REFERANSAR	57

VEDLEGG

	<u>Side:</u>
A. <u>Drikkevassforsyning</u>	60
1. Dagens situasjon	60
2. Framtidig situasjon	60
3. Teknisk/økonomiske føresetnader	63
B. <u>Industrivassforsyning</u>	64
1. Dagens situasjon	64
2. Framtidig situasjon	65
3. Teknisk/økonomiske føresetnader i analysen	66
C. <u>Jordvatning</u>	67
1. Dagens situasjon	67
2. Framtidig situasjon	67
3. Teknisk/økonomiske føresetnader	69
D. <u>Energiproduksjon</u>	72
1. Dagens situasjon	72
2. Framtidig situasjon	72
3. Teknisk/økonomiske føresetnader i analysen	72
E. <u>Minstevassføringar</u>	77
1. Dagens situasjon	77
2. Framtidig situasjon	77
3. Teknisk/økonomiske føresetnader i analysen	78
F. <u>Dammar og overføringar</u>	81
1. Dagens situasjon	81
2. Framtidig situasjon	81
3. Teknisk/økonomiske føresetnader	82

	<u>Side:</u>
G. <u>Hydrologi i vassdraget</u>	85
1. Generelt	85
2. Arealavrenning i LP-modellen	85
3. Hydrologiske føresetnader i modellkøyringane	86

1. INNLEIING

Bruk av matematiske modellar og teknikkar innan vannressursforvaltninga (VRF) har ikkje vore utbreidd i Noreg fram til i dag. Dei få modellane som er i bruk, er også helst spesifikke for avgrensa problemstillingar (som t.d. drift av kraftverk). Typiske VRF-situasjonar krev at ein vurderer fleire mål (oftast i konflikt med kvarandre) samstundes, og i størst mogleg grad greier finna samverknaden mellom desse måla. Matematiske modellar og teknikkar i VRF, slik vi brukar omgrepa, refererer seg difor alltid til fleirmålsplanlegging.

I utlandet, og spesielt i USA, har det vore arbeidd mykje med slike teknikkar dei siste 20 åra (1). Ut frå dei røynsler og vyer det arbeidet har bore fram, fann ein det føremålstenleg å starta modellaktivitetar innan VRF også her i Noreg. Med den solide innsatsen som er gjort i utlandet, er det hos oss først og fremst aktuelt å lære å bruka og tilpassa eksisterande teknikkar og metodar framfor å utvikla nye.

NIVA har nytta Lenavassdraget i Oppland fylke som det praktiske og konkrete utgangspunkt for modellaktivitetane innan VRF.

For eit forskningsprosjekt, der prøving og feiling vil vera eit viktig element, er det klare ulemper med å velja konkrete vassdrag å arbeida ut frå. M.a. kan det lett oppstå uklare førestillingar om den rollen planleggarane har andsynes den politiske avgjerdsprosessen.

Når Lenavassdraget likevel er nytta, er det spesielt ut frå to tilhøve:

- det ligg ein klar datavinst og rasjonalisering i å nytta eit vassdrag der NIVA elles har omfattande aktivitetar
- bruk av modellar er ikkje noko mål i seg sjølv. Utgangspunktet for modellaktivitetane må vera konkrete problem, og teknikkane og metodane må tilpassast dei aktuelle oppgåvene (og ikkje omvendt!)

Prosjektet vi presenterer her, har hatt følgjande overordna mål:

- å bidra til ei generell utprøving og tilpassing av matematiske modellar og teknikkar for fleirmålsplanlegging

Omfanget av matematiske modellar er stort. Målet er difor meir spesifikt definert til å omfatta ein spesiell modelltype, og kan formulerast såleis:

- å nytta ein utvalsmodell ("screening model") på den konkrete oppgåva i Lenavassdraget slik at ein på praktisk måte kan vurdere om ein slik modell fremjar ei rasjonell planlegging i dette vassdraget.

Målet er ikkje å laga ein vassbruksplan for Lenavassdraget. Eit ønskjeleg resultat av prosjektet er likevel å klarleggja ein del konsekvensar slik at den politiske avgjerdsprosessen lettare kan koma i gang og bli enklare. På denne måten vil ein redusere spennvidda for dei aktuelle planane, og kan styre innsatsen vidare inn på meir detaljert nivå der det krevst.

2. BRUK AV MODELLAR I VRF

2.1 Overordna prinsipp

Planlegging er ein dynamisk prosess. Aktivitetane går føre seg over tid, og tilbakeføringa av informasjon mellom planleggaren og beslutnings-takarane er eit viktig karakteristika. Ein viktig påstand er denne (2):

"At all stages of this process, questions arise that, if properly posed and adequate answered, will lead to plans that in some sense are better than if the questions had not been posed or adequately answered. Our view of the modern planning process is that the concepts of multi-objective investment criteria will lead to the posing of better or more appropriate questions in the planning process and that the use of mathematical models will lead to better answers to these questions.

Thus, the role of models may be viewed as that of tools from which to derive answers to well-posed questions about the performance or behavior of the system that is being planned. However, because of the dynamics of the planning process, it may happen that the answers derived from the models will suggest that the original questions were not well conceived and need to be reformulated. Hence, the role of models is iterative. They are used to produce information that may be fed forward to aid in decision-making (i.e., plan formulation). With equal value, they may produce information that is fed back to aid in redefining the problem."

Basert på dette har vi bygt arbeidet vårt kring to overordna prinsipp:

1. Bruk av ein systematisk angrepsmåte på komplekse problem gjer det mindre sannsynleg at viktige aspekt vert utegløynde (3).
2. Ein grøvre, men oversiktleg modell for dei rette problemstillingane i eit vassdrag er meir nyttig enn ein detaljert og snever modell for eit sideordna problem. Sagt på annan måte i (4):

"Logic is the tool that is used to dig holes deeper and bigger, to make them altogether better holes. But if the hole is in the wrong

place, then no amount of improvement is going to put it in the right place. No matter how obvious this may seem to every digger, it is still easier to go on digging in the same place than to start all over again in a new place. Vertical thinking is digging the same hole deeper; lateral thinking is trying again elsewhere."

Vi ser det difor slik: vassbruksplanlegginga skal byggja på systematiske metodar, men hovudvekta bør leggjast på oversyn, mangfald og iderikdom framfor tekniske detaljar.

2.2 Hovudgrupper av modellar

Grovt sett opererer vi med tre ulike modelltypar (2):

Utvalsmodell ("screening model")

Denne modelltypen er gjerne enkel, og har til føremål å gje oss ei spennvidde av aktuelle og interessante alternativ som det er verd å undersøka vidare. Ofte er desse modellane forma som optimaliseringsmodellar.

Simuleringsmodell ("simulation model")

Denne modellen av typen "kva skjer dersom" kan i større grad gje ei sann skildring av natur- og menneskelege aktivitetar. På grunn av større kompleksitet enn utvalsmodellen, er det avgrensa kor mange situasjonar som kan studerast. Det er difor hensiktsmessig å nytta ei utskiljing via utvalsmodellen først.

Tiltaksfølgjemodell ("sequencing model")

Ut frå føreliggande behovsprognoser er det aktuelt å tidfesta tiltaksrekkefølga. Ved større system og komplekse samverknader kan modelltypen vera aktuell.

2.3 Val av modeller

Vi ønskjer at modellen skal gje svar på velstilte og velforma spørsmål, dvs. at informasjonen som kjem fram må:

- vera kvantitativ
- ha tilstrekkeleg detaljeringsnivå
- hjelpe til å leia tankane på rett veg

To kryssande omsyn kjem alltid inn ved val av modell: utsagnskraft kontra kompleksitet i modellen (2).

Utsagnskrafta

avheng av tids- og romoppløysing i modellen, grannsemnd i parametrar og inngangsdata, og kor gode dei matematiske formuleringane er. Dessutan er det avgjerande om ein er i stand til å tolka resultatata på rett måte.

Kompleksiteten

er enklast målt ved tal variable. Etersom tal variable aukar, vil tid og kostnad ved å bruka modellen auka. Ikkje berre reknetida aukar, men også tida som går med til å leggja til rette for utrekningar og tolking av resultat.

Skissemessig kan vi førestilla oss eit bilete som i figur 1.

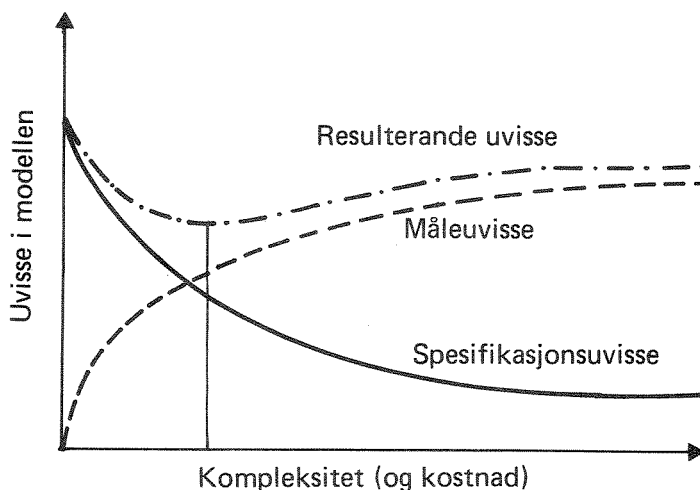


Fig. 1 Skisse av samanheng mellom uvisse og modellkompleksitet (5).

Figuren gjev denne skjønsmessige vurderinga av VRF-situasjonar:

- Det er ikkje proporsjonalitet mellom utsagnskraft og kompleksitet. På eit grovt detaljeringsnivå kan ei modellforfining gje auke i utsagnskrafta, det same er ikkje tilfelle ved større detaljeringsnivå.
- For kompliserte modellar kan føra oss ut i "totalt kaos" når det gjeld å løysa vårt spesifikke problem. Dess meir komplekse modellane blir, dess lettare har ein for å fjerna seg frå det opprinnelege problemet ein skulle finna ut av.

Den store utfordringa ligg i å finna den rette balansen mellom nødvendig utsagnskraft og kompleksitet. Først etter av modellarbeidet er avslutta, kan ein finne svar på dette problemet. Det er relativt få som har vurdert modellarbeidet sitt kritisk. I (2) finst likevel ei fullstendig gjennomgåing av eit større prosjekt utført av MIT. Bodsken der er like klar som den andre amerikanske forskarar gav oss (1): Ein kjem langt med det enkle.

Det er elles gjort lite forskningsarbeid for å finne fram til kva som er nødvendig og tilstrekkeleg detaljeringsgrad i modellar. Eit av dei få arbeida som direkte studerar dette, er utført av Rogers (6). Samverknaden mellom planlegging og drift av systema er eit viktig forskningsfelt internasjonalt i tida framover (ReVelle i (1)).

3. SKILDRING AV LENA VASSDRAGET

Nedanfor er gitt ei kort skildring av tilhøva i vassdraget, slik dei er presenterte i (7). Ei meir detaljert skildring vil ein finne i (8) og (9).

3.1 Nedbørfeltet

Storparten av Lenaelvas nedbørfelt ligg i Oppland fylke. Ein mindre del av feltet ligg i Akershus fylke. Størstedelen av feltet ligg i Østre Toten kommune, mindre deler ligg i Vestre Toten og Hurdal kommunar.

Lenaelva renn ut i Totenvika på Mjøsas vestsida og drenerer eit felt på 292 km². Feltet hellar jamnt nedover mot Mjøsa. Dei høgste partia lengst sør i vassdraget ligg 6-700 m.o.h., medan vasstanden i Mjøsa ligg 123 m.o.h.

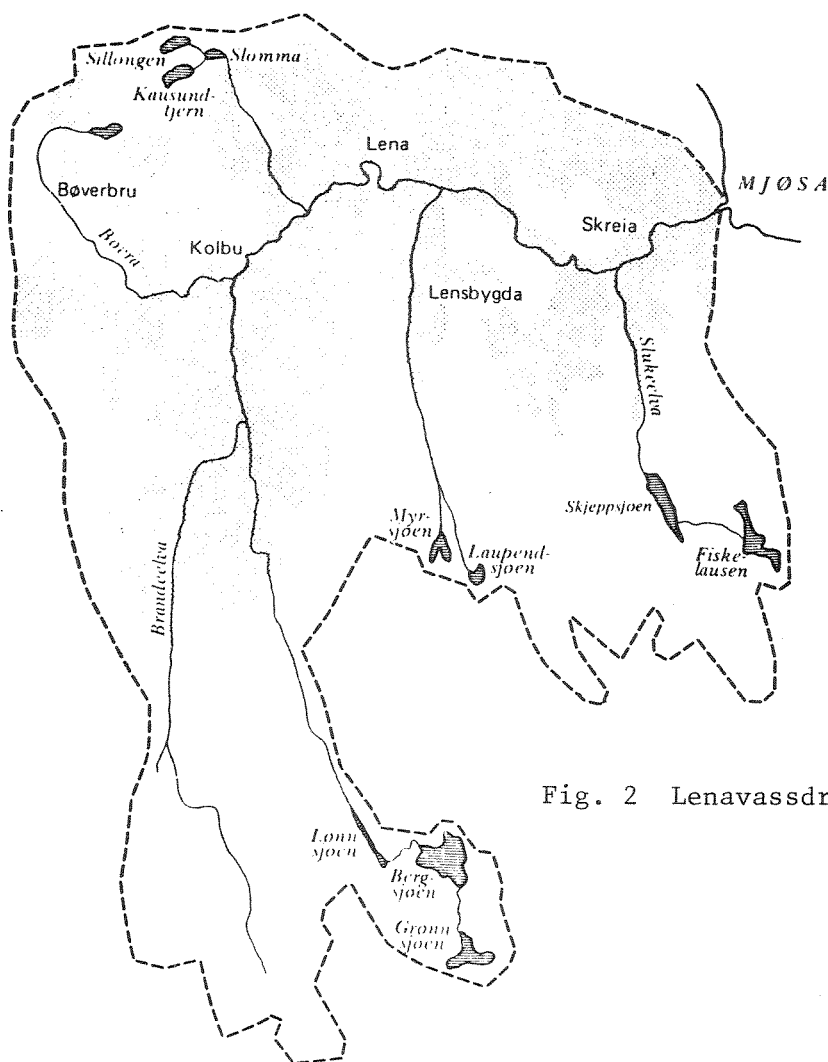


Fig. 2 Lenavassdraget

I tabell 1 er arealfordelinga i feltet vist (8):

Arealtype	Areal km ²	Areal i %
dyrka mark	92,3	32
skog	142,7	49
myr	20,7	7
vatn	3,1	1
tettbygd omr.	0,7	-
anna areal	32,1	11
totalt areal	291,7	100

Tabell 1. Arealbruk i Lenaelvas nedbørfelt

Det bur ca. 11.500 personar i feltet. Ca. 3.300 bur i fem tettstader, resten av folkesetnaden er i klynger og spreidd.

Jordbruket er den dominerande næringa. Det finst nokre industribedrifter, desse hentar i stor grad råstoffa sine frå jordbruket.

3.2 Klima, hydrologi

Området har eit typisk innlandsklima med heller kald vinter og varm sommar. Årsnedbøren ligg på ca. 600 mm, men varierer en del over feltet. Snø-
mendga varierer normalt mykje frå områda nær Mjøsa til felta som ligg
høgre. Mykje av sommarnedbøren skuldast byer. Dette medfører at nedbør-
data ovservert på ein av dei tre stasjonane som alle ligg utanfor feltet,
kan vera lite representative.

Ved Lenaelvas utløp er middelvassføringa pårekna til 3,0 m³/s. Års-
variasjonen er karakterisert ved stor flaum forårsaka av snøsmelting om
våren og ofte regnflaumar om hausten.

Vassføringa er målt ved Skreia lengst nede i vassdraget frå 1973. Desse
målingane er truleg tvilsame i einskilde periodar. Høgste målte vass-
føring er over 30 m³/s. I dataserier førekjem to tørkesomrar. I 1975 var

vassføringa nede i ca. 3-400 l/s. I 1976 vart det over fleire månader målt 100 l/s.

For å måle avrenninga frå einiskilde delfelt er det oppretta 5 nye avløpsstasjonar oppover i vassdraget. To av desse er utstyrt med limnigraf. Dei andre er vanlege vassmerke, med manuell avlesing. På figur 3 er stasjonane vist. På samme figuren er også nedbørstasjonane og ein verstasjon teikna inn.

3.3 Brukskonflikhtar i vassdraget

Figur 4 viser bruksmåtane i Lenaelva i dag. Fullgode tilhøve for kvar einskild av desse bruksmåtane set grenser både på vassføring og vasskvalitet.

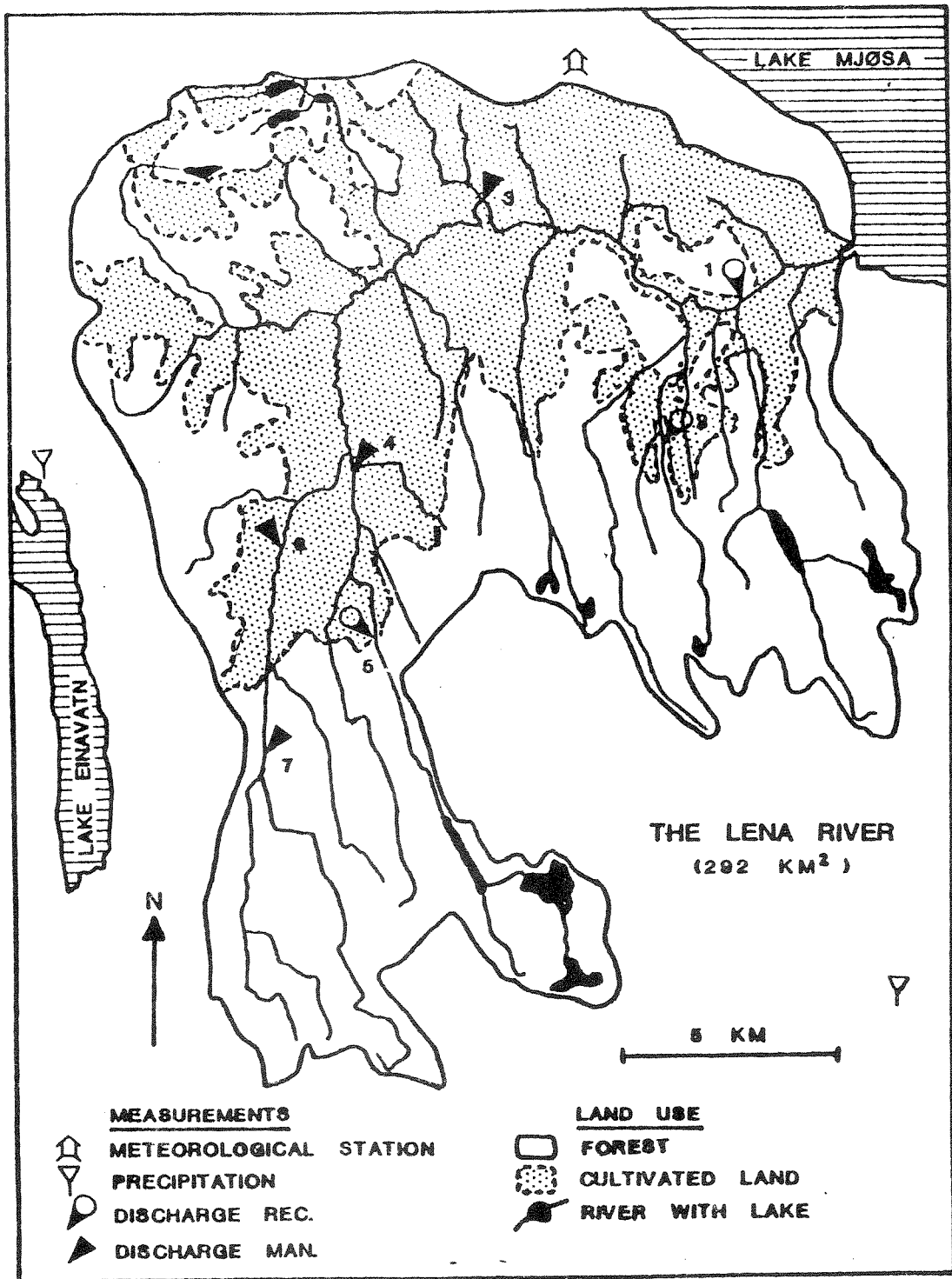
Hovudproblemet i dag kan seiast vera:

- Det er behov for å ta meir vatn ut av vassdraget til vassforsyning og jordvatning enn vassdraget kan gi i nedbørfattige år
- Store deler av vassdraget er ureina med konsekvensar for fisk og anna liv i vatnet. Elva bidrar til ureining av Mjøsa.

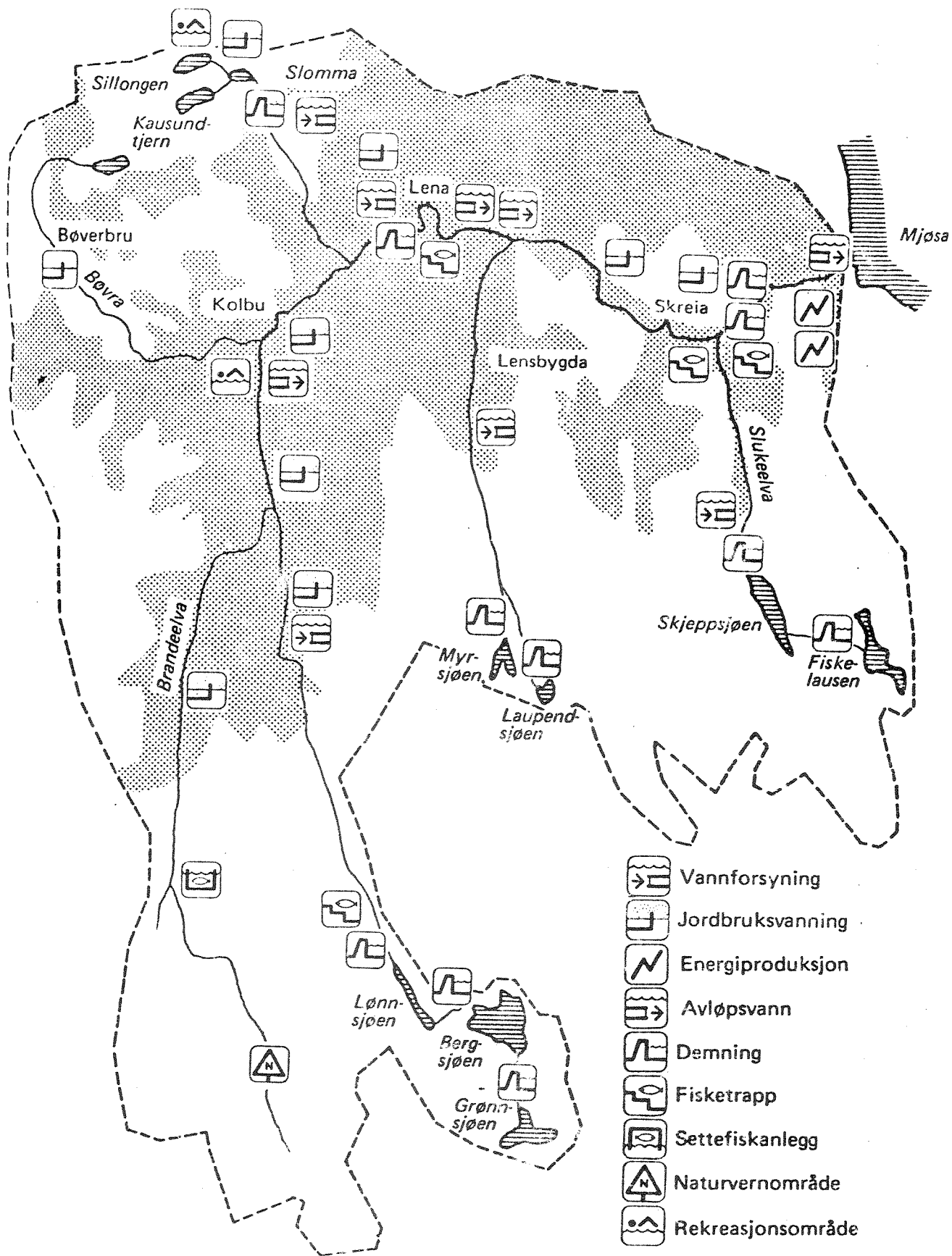
Graden av konflikhtar mellom bruksformene varierer over tid og frå stad til stad. Figurane 5 og 6 viser dei konfliktsituasjonane som vanlegvis kan opptre i ein sommarsituasjon.

I framtida ventast problema med å få nok vatn til å bli større og opptre oftare, fordi uttaka til vassforsyning og jordvatning vil auka.

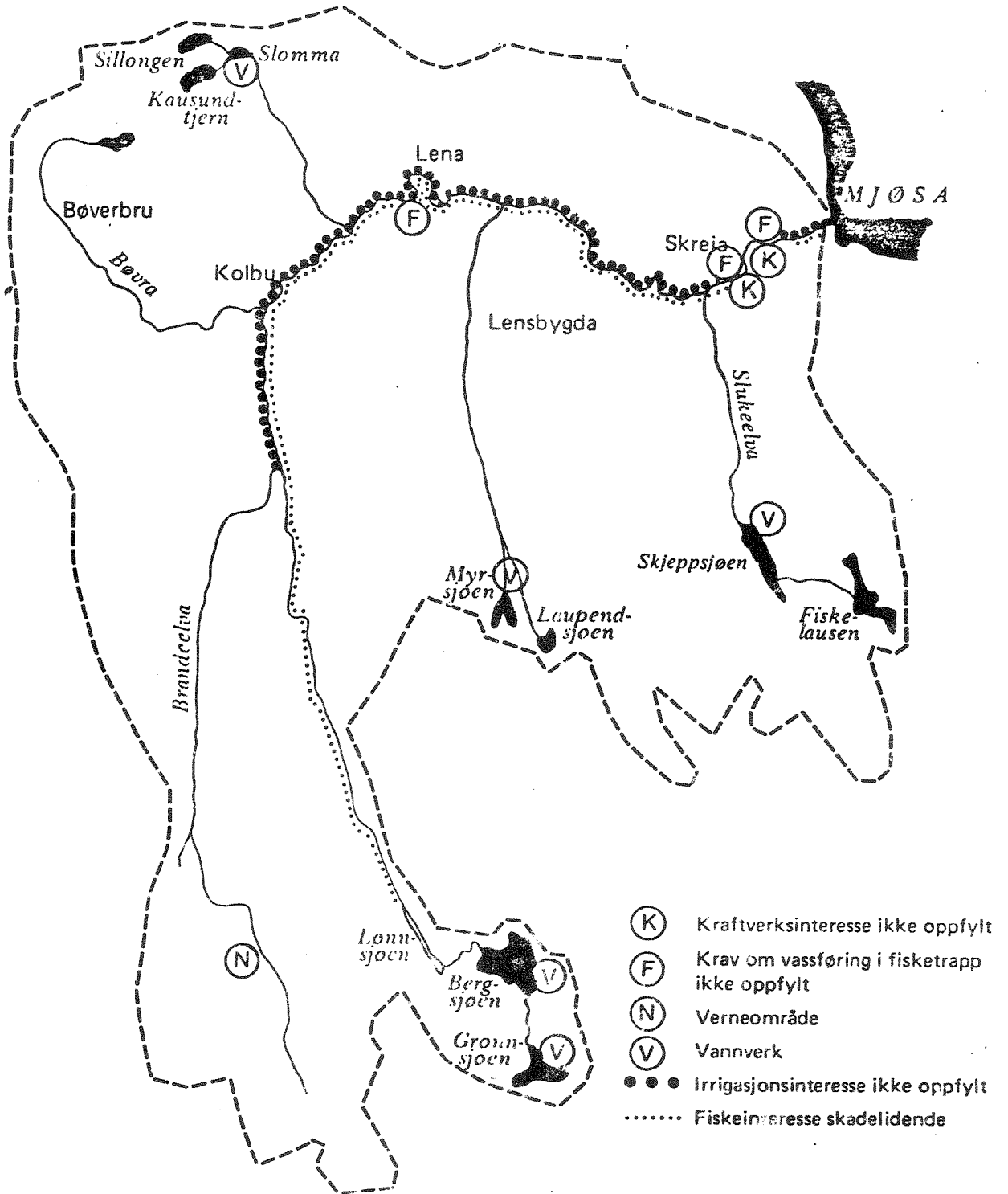
Statens institutt for folkehelse har ikkje godkjent Lena og Lensbygda vassverk.



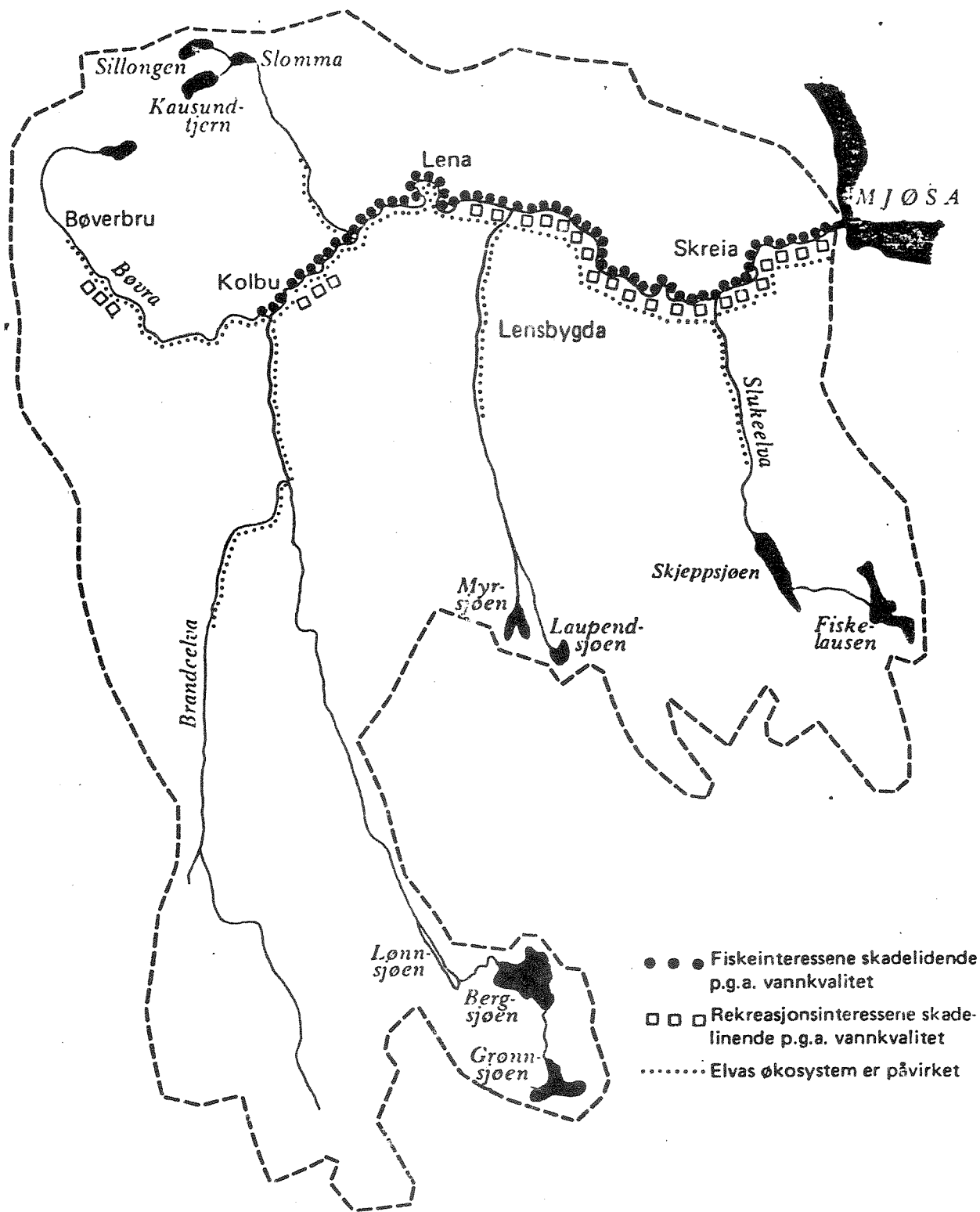
Figur 3. Målestasjonar i nedbørfeltet



Figur 4. Bruksformer i Lenaelva i dag



Figur 5. Dagens mengdekonflikter



Figur 6. Dagens kvalitetskonflikter

4. VURDERINGAR KRING UTVALSMODELLEN

4.1 Avgrensning av omfanget

4.1.1 Kvantitet kontra kvalitet

Kvantitets- og kvalitetskonfliktar i eit vassdrag heng ofte nær saman. I praksis skjer oftast løysingane likevel på ulikt vis.

Kvantitetskonfliktane blir løyste ved å endra fordelinga av vassføringane over året ved magasinering, eller der det ikkje er tilstrekkeleg, ved å importera/eksportera vatn frå andre vassdrag.

Kvalitetskonfliktane blir ofte løyst ved å gå på kjeldek kontroll. For vassforsyning vil dette seia å velja brukande vasskjelder eller nytte reinsing, på avløpssida samling av utslepp og reinsing.

Ei omfordeling av vassmengder over året vil føra til endra kjemiske og biologiske tilhøve i vassdraget. Kvalitetsproblema i Lenavassdraget er likevel så omfattande at dei i stor mon må løysast ved kontroll og reinsing av utslepp både frå hushald og industri, uavhengig av mindre omfordelingar av vassføringane i elva. På vassforsyningssida kan reinsing vera aktuell i tilknytning til eksisterande vasskjelder. Ut frå SIFFs pålegg tykkjest likevel endra bruk av vasskjelder vera det mest realistiske.

I første omgang er difor oppgåva stilt slik:

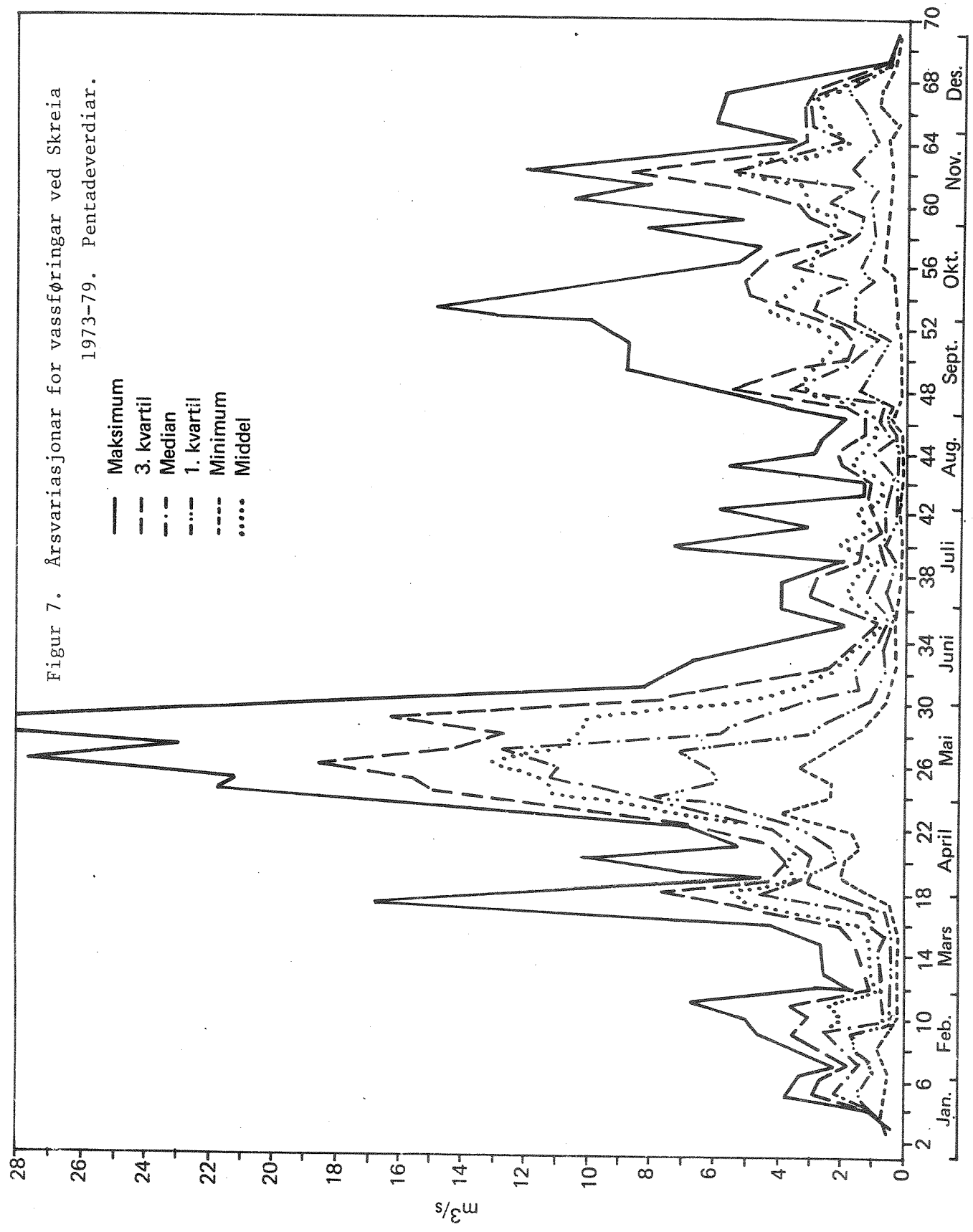
- Korleis kan vi på best måte skaffa nok vatn for å tilfredsstille flest moglege bruksformer i vassdraget?

Krava til dei kvalitetsavhengige bruksformene er då ikkje uttrykt direkte ved vasskvalitet, men indirekte ved bruk av kvantitetsmål.

4.1.2 Tidsoppløysing - stokastisk kontra deterministisk modell

Figur 7 syner typiske årsvariasjonar for vassføring i elva. Vassdraget er hydrologisk karakterisert ved flaumar vår og haust, og låg sommarvassføring.

Figur 7. Årsvariasjonar for vassføringar ved Skreia
1973-79. Pentadeverdiar.



Tabell 2 syner når dei ulike bruksmåtane gjer seg mest gjeldande. Bruksmåten er mykje nær knytta til lengre samanhangande periodar innan årstidene vinter, vår, sommar og haust. Bruksmåtane er også av ein slik type at gjennomsnittsvurderingar over lengre periodar kan vera nyttige.

Datagrunnlaget er også avgjerande. Skal det vera meningsfullt med bruk av stokastiske modellar, og stor detaljeringsgrad, trengst dataseriar på over 30 år (1). I Lenavassdraget finst det hydrologiske data kun for dei 8 siste åra. Grunnlaget for ei påliteleg statistisk vurdering er difor ikkje tilstades. Bruk av utvalde situasjonar (scenario) tykkjest mest interessant. Følgjande tilnærmingar er brukt:

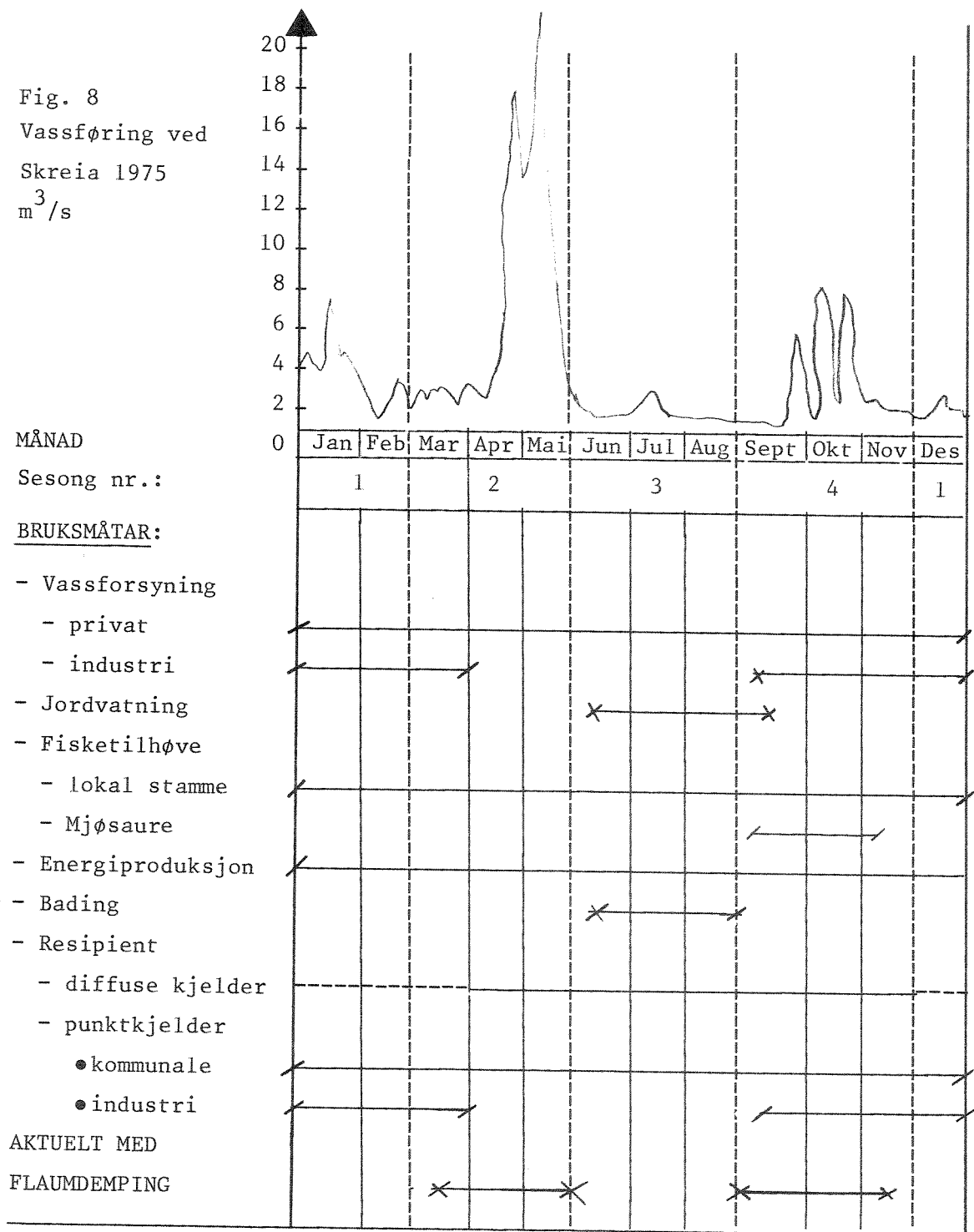
- Året er delt inn i 4 sesongar;
 - sesong 1 - desember, januar, februar
 - sesong 2 - mars, april, mai
 - sesong 3 - juni, juli, august
 - sesong 4 - september, oktober, november

- Analysen er utført for ein bestemt årssyklus

- Alle inngangsverdiar er gitt som deterministiske gjennomsnittsverdiar for dei aktuelle tidsperiodane

- Bruksformene er fordelt på sesongane som tabell 3 syner

- Økonomisk analyseperiode er sett til 50 år, med 8 % rente. Alle investeringar er føresett skje ved starten av analyseperioden.



Tabell 2. Aktuell bruk av vassdraget over året

Sesong nr.	1			2			3			4		
Månad	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov
BRUKSMÅTAR												
- Vassforsyning												
- privat	/			/			/			/		/
- industri	/		/									/
- Jordvatning							/	/	/	/		
- Fisketilhøve												
- lokal stamme	/			/			/			/		/
- Mjøsaure												/
- Energiprod.	/			/			/			/		/
- Bading							/	/	/	/		
- Resipient												
- diff. kjelder	- - -	- - -	/				/			/		/
- punktkjelder												
- kommunale	/			/			/			/		/
- industri	/		/									/
AKTUELT MED FLAUMDEMPING				/	/	/	/			/	/	/

Tabell 3. Aktuell bruk av vassdraget fordelt på sesongar.

4.1.3 Geografisk oppløysing

Alle aktivitetar og kvantitetsendringar i vassdraget er føresettt skje i knutepunkt. Ved fastlegging av knutepunkt må ein m.a. ta følgjande omsyn:

- Ei fin inndeling fører til at ein kan representere vassdraget meir naturtru i modellen. Dette fører til ein modell som rekneteknisk er meir kompleks enn ein med grov inndeling, og som er vanskelegare å tolka, dvs. det kan bli problem å skilja vesentleg frå uvesentleg.
- Ei grov inndeling er å føretrekkja frå rekneteknisk synsstad. Inndelinga bør likevel ikkje vera grøvre enn at det er lett å kjenna seg igjen i modellen, og viktige inn- og uttak av vatn og magasineringspunkt må med.

For modelloppbygginga i Lenavassdraget er det lagt avgjerande vekt på at det skulle vera lett å kjenna seg att i modellen. Difor har modellen ut frå skjønsmessige vurderingar enda opp med 23 knutepunkt totalt, av desse er 11 knytta direkte til magasin. Figur 9 syner knutepunktinndelinga.

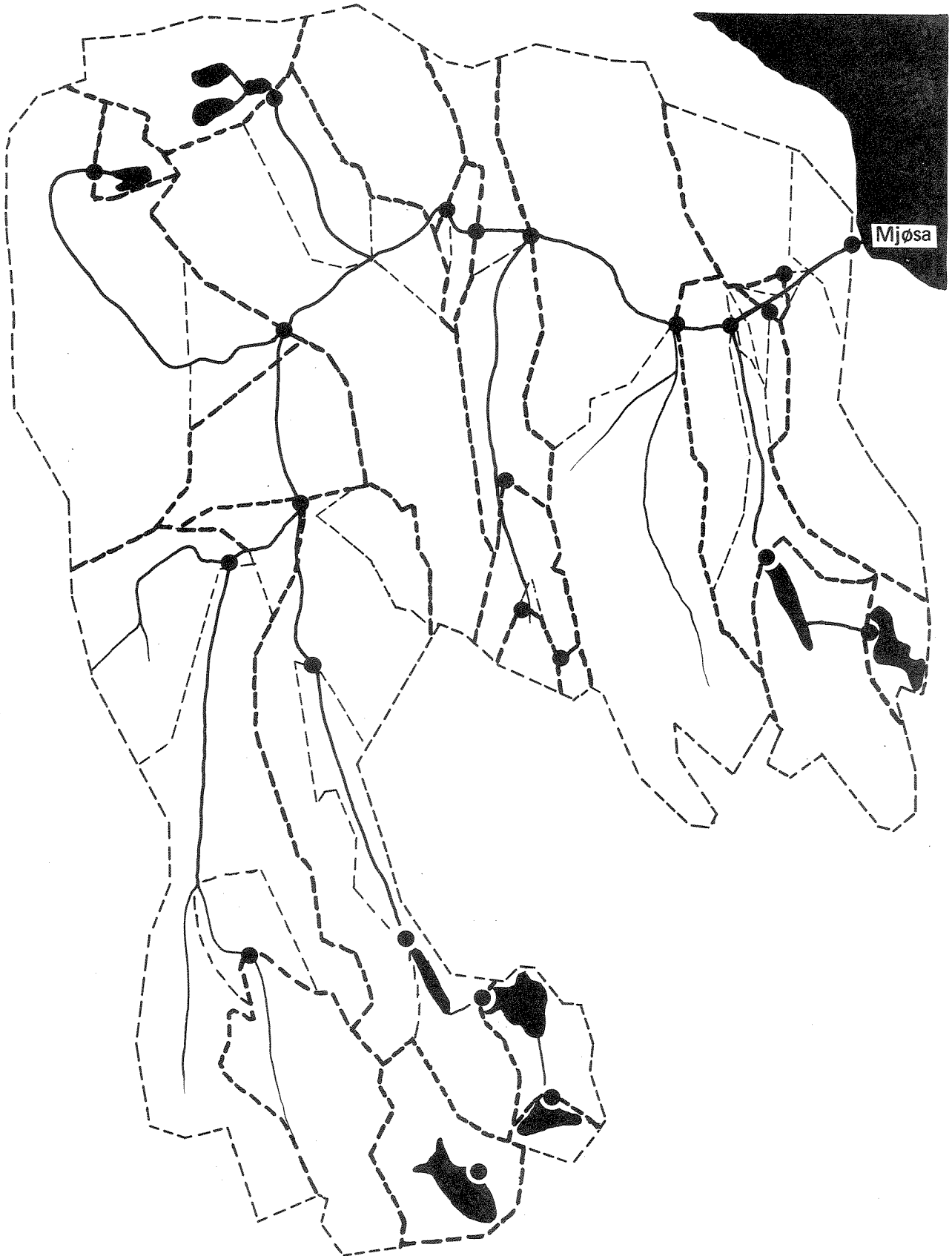
4.2 Modellskisse

Figur 10 syner ei stilisert modellskisse med nummererte knutepunkt og vasstraumar. Skissa er laga slik at det skal vere lettast mogeleg å kjenne seg att i modellen.

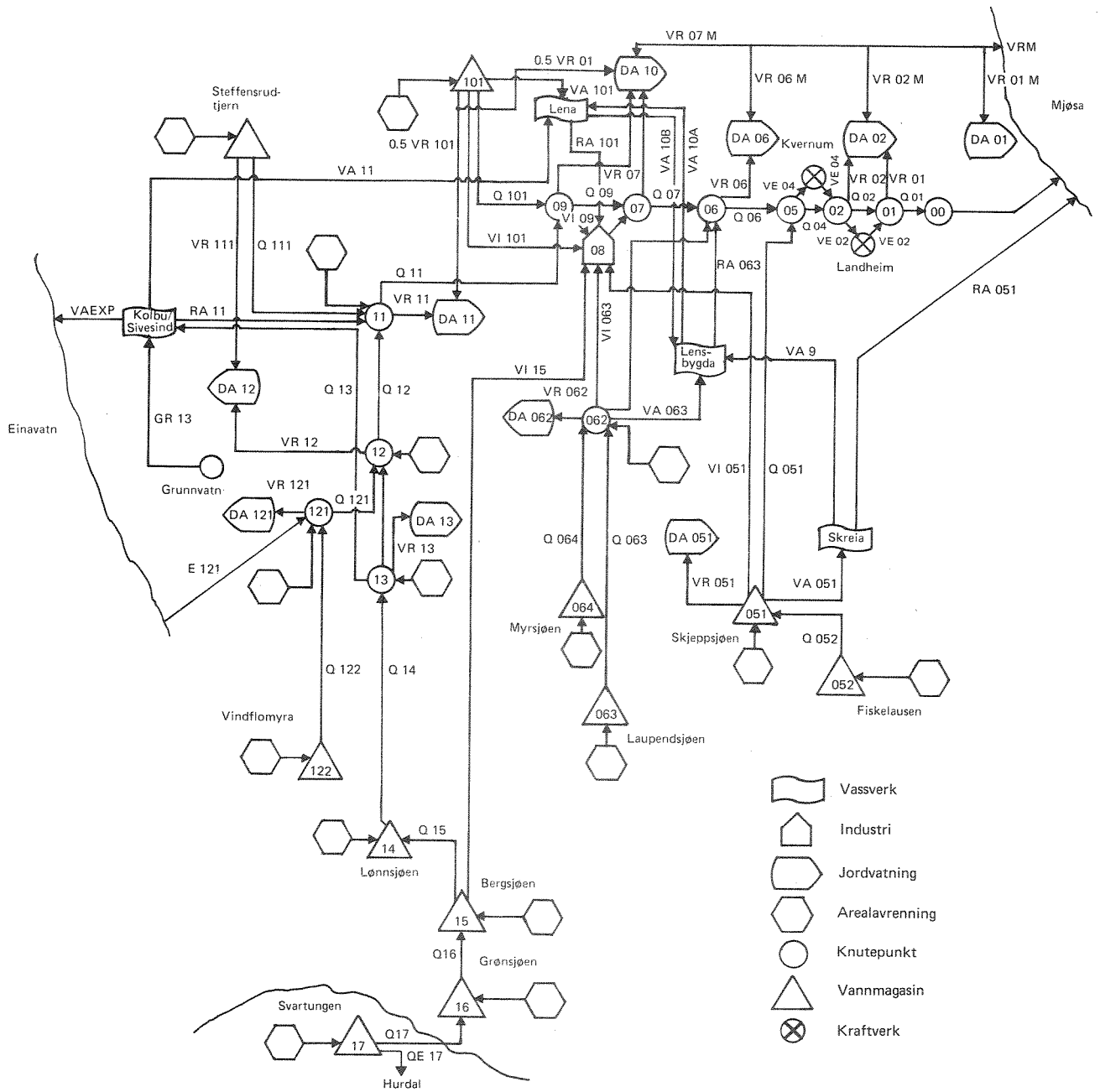
Alle aktuelle straumar, magasin og koplingar er tekne med, slik at skissa ikkje er spesiell for eit bestemt alternativ.

4.3 Løysingsmetode

Ein av føresetnadene våre bak dette arbeidet var at vi ville nytta teknikkar som var godt utprøvde, m.a. i USA. Dessutan ville vi i ein prøvefase arbeida enkelt og unngå mykje programmeringsarbeid. Trass i problema med linearisering valde vi difor lineær programmering som optimaliseringsrutine. NIVA har tilgjengeleg programpakken LINE, utvikla av Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitutt og Norsk Regnesentral (10).



Figur 9. Knutepunktinndeling.



Figur 10. Modellskisse

5. FORMULERING AV FLEIRMÅLS LP-MODELL

5.1 Generell målformulering

Ein føresetnad for all vassbruksplanlegging er at ein arbeider mot dei reelle mål og ønskje som finst for bruk og utnytting av vassdraget. Desse reelle måla kan stundom vera ulike dei som offentleg vert uttrykt, jfr. (11).

Generelt bør det leggjast stor vekt på å klarleggja dei reelle måla ulike grupper har. Dette delprosjektet har primært hatt eit anna siktemål, og det er difor ikkje utført nokon eigen målanalyse i dette prosjektet. Målformuleringane byggjer på det arbeidet som tidlegare er utført (8, 9), og kan generelt samanfattast som i tabell 4.

Mål	Minimer Maximer Tilfredsst.	Skildring	Symbol	Eining
1	Minimer	Noverdien av netto kostnad (kostnad - inntekt) for investering, drift og vedlikehald av dammar, overføringsanlegg, fisketrapper, kraftverk, vassforsynings- og jordvatningsanlegg	COST	10 ⁶ kr
2	Maximer	Energiproduksjonen i nedbørfeltet	ENG	MWh/år
3	Maximer	Vatna dyrka areal i nedbørfeltet	IRR	km ²
4	Minimer	Import av vatn til nedbørfeltet frå Vestre Toten og Hurdal kommune	IMP	10 ⁶ m ³ /år
5	Maximer	Fleksibilitet overfor endra krav og føresetnader	FLEX	Subjektiv skala
6	Tilfredsst.	Vern av Vindflomyra	PROT	(ja/nei)
7	Tilfredsst.	Minimumsvassføring i elv og fisketrapper (omsynet til vasskvalitet og fisk)	FLOW	(ja/nei)
8	Tilfredsst.	Leveranse av drikkevatt til Vestre Toten på dagens nivå	WAEXP	(ja/nei)
9	Tilfredsst.	Tilstrekkelig forsyning av hygienisk akseptabelt vatn både til hushald og industri	DRINK	ja

Tabell 4. Formulering av mål.

Dei 4 første måla er lette å oppnå eit kvantifiserbart uttrykk for. Mål 5 uttrykkjer ønskje om fleksible løysningar som er gunstige sjølv med endra føresetnader. Noko objektiv mål for dette er ikkje gjort forsøk på å utvikla, og det er brukt ei skjønsmessig vurdering.

For måla 6, 7 og 8 er det føresett at ei enten/eller-løysing er aktuell. Ein vernar t.d. Vindflomyra heilt ut, eller byggjer demning og lagar så stort magasin som er mogeleg. Mellomløysingar er lite aktuelle.

Samleis er minimumsvassføringane i elv og fisketrapper vurdert - enten har ein tilstrekkeleg vatn, eller ikkje.

Mål 9; vassforsyning, er uttrykt som eit ufråvikeleg krav.

5.2 Presisering av målformuleringar

Nedanfor vil kvar eindkild av målformuleringane bli gjennomgått. For detaljar syner ein til vedlegg.

5.2.1 Noverdi av netto kostnad (COST)

Målfunksjonen for alle LP-problem må vera lineær, dvs. alle einingskostnader må vera konstante så langt ein ikkje nyttar separabel programmering.

For å halda tal variable nede, er det som ei første tilnærming gjort grove gissingar på kva område dei variable vil vera innanfor, og einingskostnadene sett konstant.

Alle investeringar er føresett skje ved starten av analyseperioden, som er sett til 50 år. Drifts- og vedlikehaldskostnader, og eventuelle årlege inntekter, er diskontert til noverdi med ein rentefot på 8 % p.a.

Eit negativ uttrykk for noverdi av netto kostnad tyder inntekt.

Følgjande variable inngår i kostnadsrekninga:

- Drikkevassforsyning (uttak, overføringar, eksport)
- Industrivassføring (uttak, overføringar)
- Jordvatning (inntekt ved jordvatning, kostnad ved anlegg og overføringar)
- Energiproduksjon (kostnad ved opprusting av kraftverk, gevinst ved sal)
- Fisketrapper (vedlikehald)
- Dammar og eksterne overføringar (kostnad ved opprusting/nye dammar, kostnad ved overføringar)

Målet er formulert som å minimera noverdien av netto kostnader, dvs. det er teke omsyn til inntekter ved jordvatning og sal av elektrisk kraft.

Det er viktig å merka at ein ikkje skil mellom privat og offentleg økonomi, men ser samla på netto kostnad i nedbørfeltet.

5.2.2 Energiproduksjon i nedbørfeltet (ENG)

Målet er formulert som å maksimera summen av energiproduksjonen ved kraftverka til Landheim veveri og Kvernum Bruk, målt i MWh/år.

5.2.3 Vatna dyrka areal i nedbørfeltet (IRR)

Målet er formulert som å vatna mest mogeleg av det dyrka arealet i nedbørfeltet i sesong 3, målt i km².

5.2.4 Import av vatn til nedbørfeltet frå Vestre Toten og Hurdal kommunar (IMP)

Målet er å gjera denne importen så liten som mogeleg. Grunnen til dette ligg mest på det politiske/administrative planet. Det er ofte problematisk å kryssa administrative grenser.

5.2.5 Fleksibilitet overfor endra krav og føresetnader (FLEX)

Ein ønskjer alltid å finna fram til løysningar som ikkje er spesielt våre for endringar i natur og omgivnader. Gjennom omfattande sensitivitets-testing kan ein få eit brukande objektiv mål for dette. I vårt tilfelle er ambisjonsnivået i første rekkje lagt til ei rein subjektiv vurdering av alternativa.

5.2.6 Vern av Vindflomyra (PROT)

Dette målet føreset at ein ikkje føretek noko inngrep i dette området, men let det forbli som det er i dag.

5.2.7 Minstevassføringar (FLOW)

Fiskeoppgang, fiskeproduksjon og omsynet til vasskvalitet føreset at det til eikvar tid er tilstrekkeleg vatn på ulike elvestrekningar. Målet er difor formulert slik at det er oppfylt dersom desse minstevassføringane vert haldne på alle strekningar der det er nødvendig.

5.2.8 Leveranse av drikkevatt til Vestre Toten (WAEXP)

Målet her er å halda leveransen på same nivå som i dag. Dersom ein ikkje gjer det, finn ein det mest realistisk å sløyfa all eksport av vatn.

5.2.9 Vassforsyning

Det er eit overordna mål og ein ufråvikeleg føresetnad at drikkevatt av hygienisk tilfredsstillande kvalitet kan skaffast i tilstrekkelege mengder både til hushald og industri. I praksis tyder dette at kun Skjeppsjøen og Bergsjøen er aktuelle som overflatekjelder, og i tillegg kjem eventuell grunnvassforsyning.

5.3 Formulering av føresetnader

Nedanfor er gitt ei generell omtale av føresetnadene. Detaljar finst i vedlegga.

I alle knutepunkt må massebalansane vera oppfylt til eikvar tid, dvs. kontinuitet.

For magasinerna eller dammarna finst det visse øvre og nedre grenser for reguleringsvoluma. Desse grenseverdiane må fastleggjast. Likeeins må det fastleggjast ein viss strategi for korleis magasinerna blir tømde og fylte. I dette tilfellet er det naturleg å føresetta at magasinerna er på sitt nedre nivå ved starten på periode 2, dvs. før vårflaumen set inn.

Kor mykje vatn som må takast ut pr. arealeining til jordvatning i sesong 3 må fastsetjast, likeeins kor mykje av dette vatnet som vert ført attende til elva. Dersom ein vatnar tilpassa behovet, vil generelt ein liten del av vatnet nå tilbake til elvesystemet. I Lena er difor denne delen sett til null.

For kraftverka ved Kvernum bruk og Landheim veveri må det settast opp produksjonskurver og kapasitetsgrenser.

Omfanget av vassforsyninga til hushald og industri må gjevast, likeeins kvar ein kan ta vatn frå.

Overføringsanlegg for import/eksport av vatn må spesifiserast, likeeins kapasitetsgrenser.

5.4 Generell matematisk modellformulering

Som eit fleirmåls lineært programmeringsproblem kan modellen uttrykkjast såleis:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z(x_1, x_2, \dots, x_n) &= (Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ &Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\dots, Z_p(x_1, x_2, \dots, x_n)) \\ \text{s/t } g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

der $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ = fleirmålsfunksjonen

$$Z_1(\quad), Z_2(\quad),$$

$$Z_p(\quad) \quad = \quad p \text{ individuelle målfunksjonar}$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad = \quad n \text{ beslutningsvariable}$$

$$g_i(\quad), \dots, g_m(\quad) \quad = \quad m \text{ avgrensingar/føresetnader}$$

Ein føresetnad for å løysa dette problemet med standard matematisk programmeringsteknikk er at det kun finst ein målfunksjon, og ikkje fleire, slik tilfellet er her.

Det er nytta fleire måtar å "omgå" dette problemet på. Cohon (12) har gitt eit samla oversyn over desse fleirmålsteknikkane. Typisk for alle er at planleggjaren åleine ikkje kan nytta objektive kriterier for å nå fram til det eine optimale resultatet, men er avhengig av beslutningstakaren sin respons og sine reaksjonar undervegs.

Vi har sett det som eit viktig mål å gje beslutningstakarane eit grunnlag å vurdera ut frå, utan at vi vurderer måla implisitt mot kvarandre. Både gjennom skriftleg materiale (12) og ved personleg samtale (1) har Dr. Jared L. Lohon klart uttrykt at genererande teknikkar er å føretrekkja framfor preferanseorienterte. I tråd med dette har vi prøvt ut avgrensingsmetoden ("the constraint method") og framstilt resultatata etter verdiprofil ("value path").

Reint praktisk går metoden ut på å optimalisera ein og ein målfunksjon om gongen, og formulera dei andre måla som systemføresetnader.

For kvart alternativ finn ein fram til løysningar som er "best" mogleg (dvs. "noninferior" eller "Pareto-Optimale"), slik at ein ikkje kan oppnå større måloppnåing for eitt mål utan at det går ut over andre.

Når ein på denne måten optimaliserer eitt og eitt mål, og samstundes reknar ut tilhøyrande Pareto-optimale verdiar for dei andre, får ein fram spennvidda for dei einskilte måloppnåingane. Både desse ytteralternativa, og andre konkrete, mellomliggande alternativ, kan framstillast med verdiprofil.

5.5 Storleiken på LP-modellen

Den resulterande LP-modellen har:

- (a) 9 mål (objectives)
- (b) 240 beslutningsvariable (decision variables)
- (c) 187 føresetnader (constraints)
- (d) 155 avgrensingar på variable (bounds)

6. RESULTAT

6.1 Spesielle føresetnader

Analysen skal gje grunnlag for å styra den vidare konkrete arbeidsinnsatsen i Lenavassdraget i visse hovudretningar.

Grunnlagsmateriale og nærare føresetnader er spesifisert i vedlegga A-G.

Av spesiell interesse er føresetnaden om naturleg avrenning i feltet. Som det går fram av vedlegg G er det to situasjonar som er gjennomrekna, A og B. For oversynet gjev ein att desse verdiane her, tabell 5:

	1973-79 gj.snitt vass- føring ved Skreia	Situasjon A	Situasjon B
Sesong 1	1,67 m ³ /s	2,3 m ³ /s	1,7 m ³ /s
" 2	5,75 "	6,- "	5,8 "
" 3	1,49 "	0,7 "	0,5 "
" 4	3,11 "	2,2 "	3,1 "
Gj.snitt over året	3,0 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s

Tabell 5. Avrenningstal for nedbørfeltet

Begge desse avrenningssituasjonane, A og B, representerer ugunstig sommar-situasjon, med B som den mest ugunstige. Situasjon A ligg mykje nær den situasjonen ein hadde i 1975.

6.2 Situasjon A

6.2.1 Hovudresultat - situasjon A

Tabell 6 syner hovedresultata for kvart av måla for 18 ulike alternativ som er gjennomrekna.

I situasjon A er eitt og eitt mål optimalisert, og ein finn dei beste verdiane som kan oppnåast for alle andre mål med dette gitte optimum (Alternativa A-G).

Måla 6-9 har form av enten/eller-løysningar. For å få spennvidda for realistiske alternativ, har ein kombinert desse måla på ulike måte med ein annan restriksjon: med og utan import av vatn frå nabovassdrag.

Tabell 6 er ikkje lett å lesa direkte. Ein del av desse resultatane er difor framstilt med verdiprofil i figurane 11-15.

MAL		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eining		COST	ENG	IRR	IMP	FLEX	PROT	FLOW	WAEXP	DRINK
		10 ⁶ kr	MWh/år	km ²	10 ⁶ m ³ /år	subj.	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja
A	COST	- 31.2	1007	88.	6.7	-	nei	nei	nei	ja
B	ENG	- 8.8	1274	79.	9.8	-	nei	ja	nei	ja
C	IRR	- 31.2	1007	88.	6.7	-	nei	nei	nei	ja
D	IMP	- 19.7	1007	71.	0.0	-	nei	nei	nei	ja
	FLEX	-----								ja
E	PROT	- 31.1	1007	88.	7.6	0	ja	nei	nei	ja
F	FLOW	- 24.8	1018	87.	10.0	-	nei	ja	nei	ja
G	WAEXP	- 30.5	1007	88.	7.5	-	nei	nei	ja	ja
	DRINK	-----								ja
H		- 23.6	1018	87	10.0	+	ja	ja	nei	ja
I		-30.3	1007	88	8.4	+	ja	nei	ja	ja
J		- 22.0	1018	87	10.0	+	ja	ja	ja	ja
K		- 23.3	1018	87	10.0	0	nei	ja	ja	ja
L		- 17.7	1007	67	0	-	ja	nei	nei	ja
M		- 6.4	1018	64	0	-	nei	ja	nei	ja
N		- 16.9	1007	69	0	-	nei	nei	ja	ja
O		- 4.5	1018	60	0	+	ja	ja	nei	ja
P		- 14.9	1007	65	0	+	ja	nei	ja	ja
Q		- 1.6	1018	60	0	+	ja	ja	ja	ja
R		- 3.6	1018	64	0	0	nei	ja	ja	ja
Best		- 31.2	1274	88	0	+	ja	ja	ja	ja
Dårlegast		- 1.6	1007	60	10.0	-	nei	nei	nei	ja
Skilnad		- 29.6	267	28	- 10.0	+/-	ja/nei	ja/nei	ja/nei	0

Tabell 6. Resultat - situasjon A

Figur 11 syner spennvidda i alternativa. Alt. A er det som maksimerer det økonomiske utbyttet, alt. Q er det som gjev dårlegast måloppnåing på økonomisida.

For energiproduksjon er alternative omlag jamngode. Med dei føresetnader analysen nyttar, er det nær samanheng mellom jordvatning og økonomisk utbytte. Det alternativet som fell dårlegast ut økonomisk, gjev også minst vatna areal. Dei absolutte tala for vatna areal byggjer på gjennomsnittsvurderingar, og i eit praktisk tilfelle vil ein liggja ein del lægre.

Import av vatn frå nabovassdrag (dvs. Einavatn og Svartungen) er utslagsgjevande. I figur 12 er synt eit døme på dette. Alternativa Q og I har lik måloppnåing for måla 5-9, men alternativ Q tillet ikkje import av vatn frå nabovassdrag. Skilnaden i noverdi for desse alternativa er vel 20 mill. kr, eller eit årleg netto skilnad på 1,5 mill.kr.

I figur 13 er konsensensane av vern av Vindflomyra forsøkt framstilt for eitt sett av føresetnader. Både i økonomi og i vatna areal er utslaga små:

Som ventande er utslaga større for krav om tilfredsstillande minstevassføringar, slik fig. 14 syner.

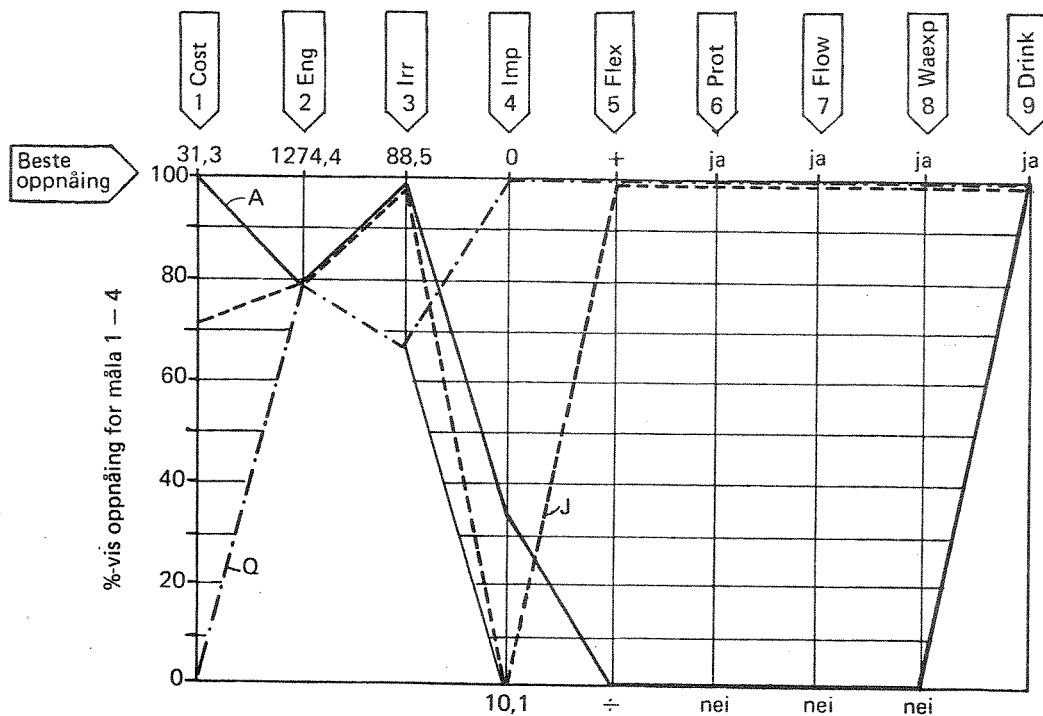
Drikkevasseksporten betyr derimot lite i ein større samanheng, fig. 15, men dette er under føresetnad at det er mogeleg å supplere med grunnvatn.

6.2.2 Praktiske konsekvensar - situasjon A

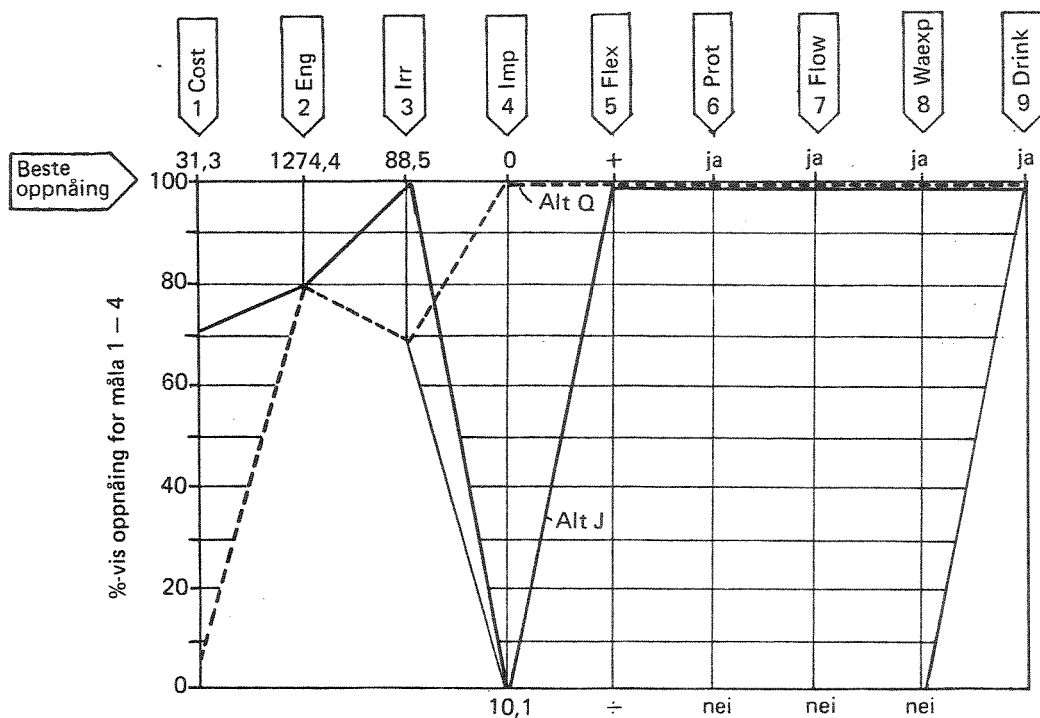
Det er ofte ikkje tilstrekkeleg for praktiske avgjerder at ein kun får presentert hovudresultat, men ein ønskjer også å vite kva praktiske inngrep desse inneber.

Sagt annleis: Saman med resultat frå måloppnåing ("objective space") presenterer vi også resultat som syner kva dette inneber av praktiske løysningar ("decision space").

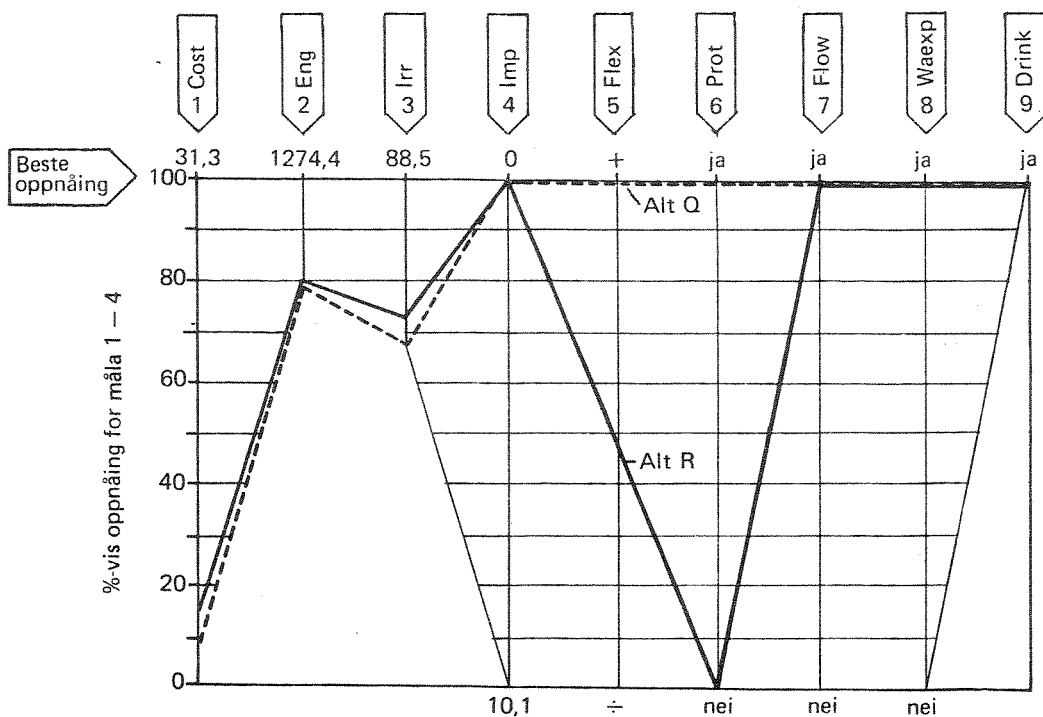
For situasjon A har vi framstilt ein del alternativ på denne måten, figurane 16-21.



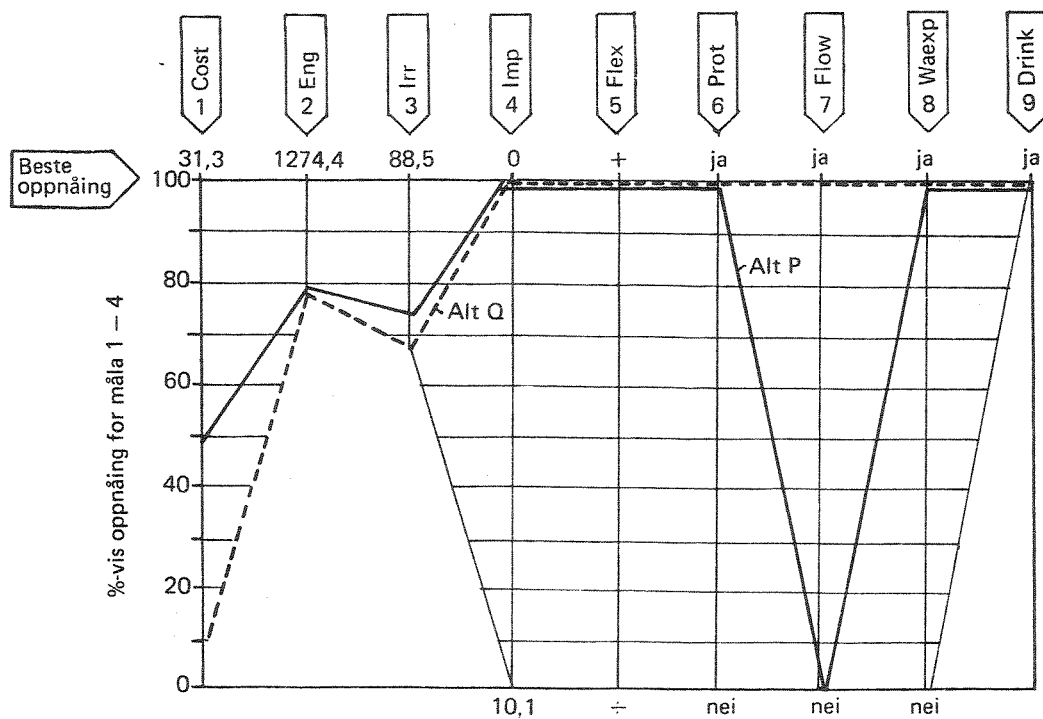
Figur 11. Situasjon A. Alternativ J og Q.



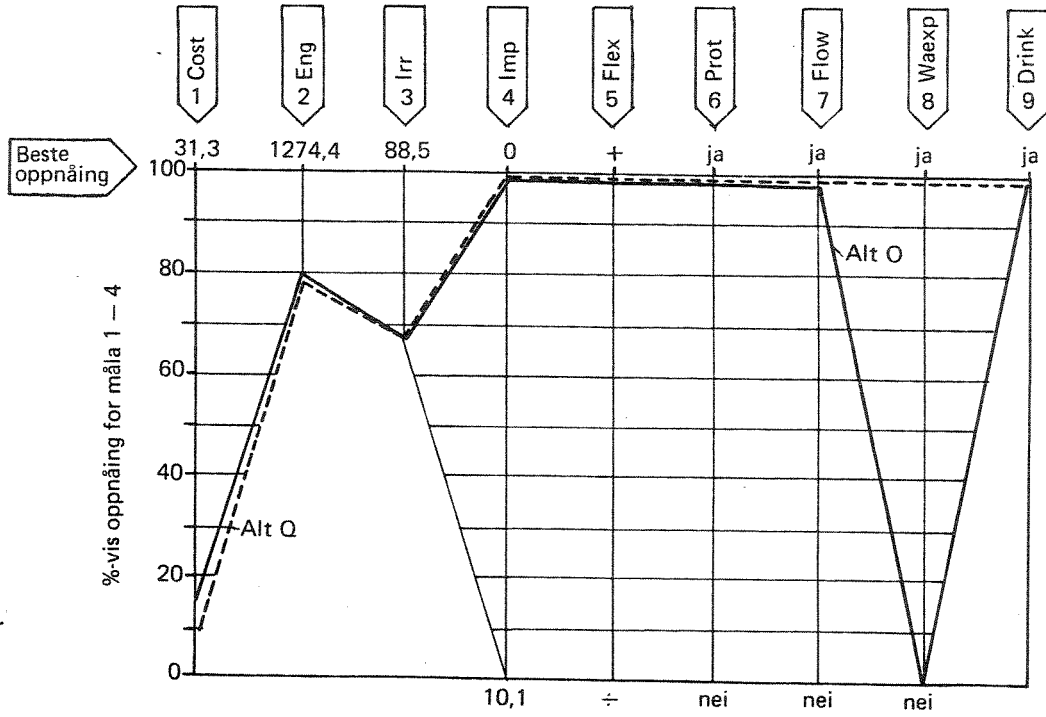
Figur 12. Situasjon A. Alt. Q utan import av vatn og alt. J med import.



Figur 13. Situasjon A. Alternativ Q utan dam ved Vindflomyra, og alternativ R med dam ved Vindflomyra.



Figur 14. Situasjon A. Alternativ Q med minstevassføring, alternativ P utan minstevassføring.

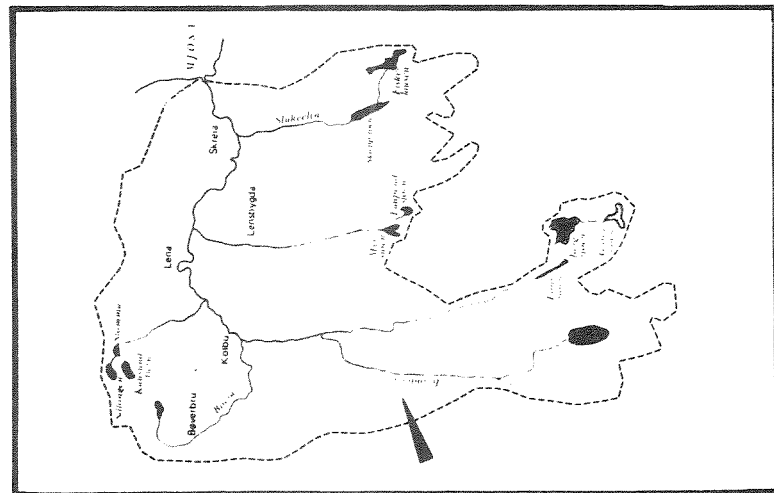


Figur 15. Situasjon A. Alternativ Q drikkevasseksport og alternativ O utan drikkevasseksport.

Alt. A	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 31,2	1007	88	6,7	-	nei	nei	nei	ja
Eining	106 kr	MWh/år	km ² /år	106 m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

M = magasin E = energiprod. J = jordvatning
 D = drikkevattn I = import

Nyttavolum % av max volum	Fiske-lausen	Skjepp-sjøen	Laupend-sjøen	Myr-sjøen	Sillongen Slomma Kauserudtjern	Steffens-rudtjern	Vindflo-myra	Lønn-sjøen	Berg-sjøen	Grøn-sjøen	Svart-ungen	Vaexp	
												Grunnvattn	0
Hushald m ³ /s	052	051	063	064	101	111	122	14	15	16	17	0,042	0
Industri m ³ /s	100	62	100	100	28	0	100	0	29	0	0	0,014	0



Figur 16. Praktiske konsekvensar - alternativ A

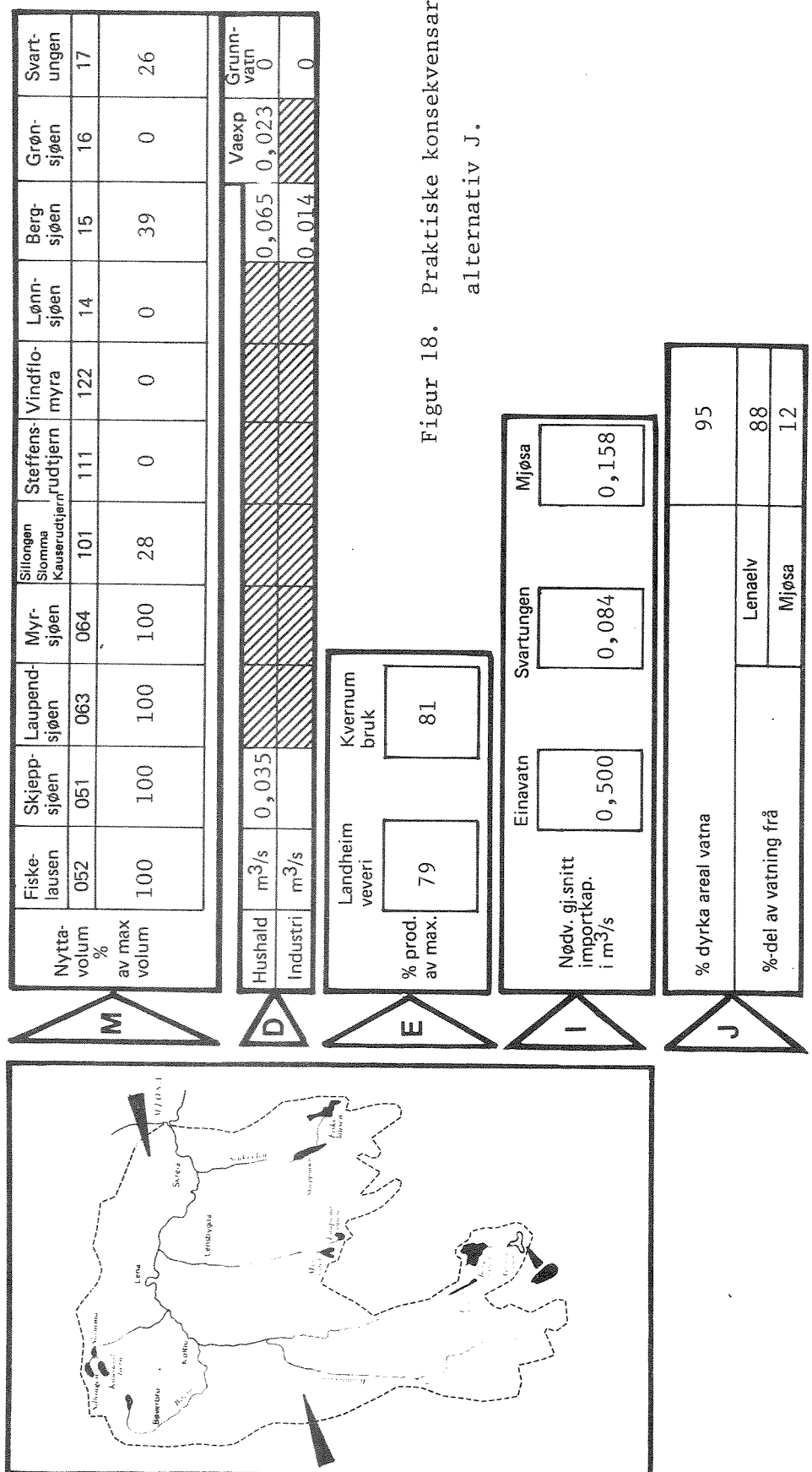
Landheim veveri	78
Kvernnum bruk	80
% prod. av max.	

Nødv. gj.snitt importkap. i m ³ /s	0,43
Einavatn	0
Svartungen	0
Mjøsa	0

% dyrka areal vatna	95	
%-del av vatning frå	Lenaelv	100
	Mjøsa	0

Alt. J	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 22,0	1007	87	10,0	+	ja	ja	ja	ja
Eining	10 ⁶ kr	MWh/år	km ² /år	10 ⁶ m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

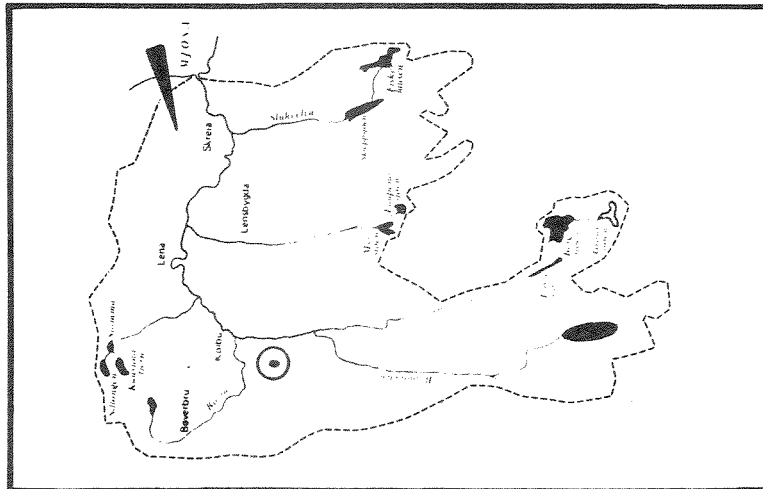
M = magasin E = energiprod. J = jordvatning
 D = drikkevattn I = import



Figur 18. Praktiske konsekvensar - alternativ J.

Alt. R	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 3,6	1018	64	0	0	nei	ja	ja	ja
Eining	10 ⁶ kr	MWh/år	km ² /år	10 ⁶ m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

M = magasin E = energiprod. J = jordvatning
 D = drikkevatt I = import



	Fiske- lausen	Skjepp- sjøen	Laupend- sjøen	Myr- sjøen	Silongen Stomma Kauerudtjern	Steffens- rudtjern	Vindflo- myra	Lønn- sjøen	Berg- sjøen	Grøn- sjøen	Svart- ungen
Nytta- volum %	052	051	063	064	101	111	122	14	15	16	17
av max volum	100	100	100	100	28	0	100	0	29	0	0

	Hushald m ³ /s	Industri m ³ /s	Vaexp	Grunn- vatt
	0,035	0	0,015	0,023
			0,014	0,050
				0

M

Landheim veveri

Kvernum bruk

% prod. av max. 79

81

D

E

I

Einavath

Svartungen

Mjøsa

Nødv. gj.snitt importkap. i m³/s

0

0

0,280

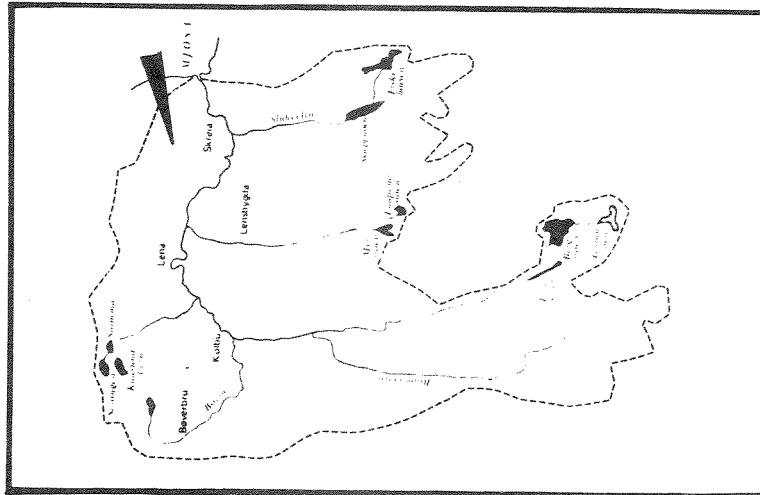
J

% dyrka areal vatna	69
%-del av vatning frå	Lenaelv
	Mjøsa
	72
	28

Figur 19. Praktiske konsekvensar - alternativ R.

Alt. 0	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 4,5	1018	60	0	+	ja	ja	nei	ja
Eining	10 ⁶ kr	MWh/år	km ² /år	10 ⁶ m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

M = magasin E = energiprod. J = jordvatning
 D = drikkevåtn I = import



Nytta- volum % av max volum	Fiske- lausen	Skjepp- sjøen	Laupend- sjøen	Myr- sjøen	Sillongen Slomma Kausrudtjern	Steffens- rudtjern	Vindflo- myra	Lønn- sjøen	Berg- sjøen	Grøn- sjøen	Svart- ungen
052	051	063	064	101	111	122	14	15	16	17	
100	100	100	100	29	0	0	0	29	0	0	

Hushald	m ³ /s	0,035	Vaexp	0,015	Grunn- våtn	0,027
Industri	m ³ /s	0		0,014		0

Landheim veveri	79	Kvernum bruk	81
--------------------	----	-----------------	----

Nødv. gj.snitt importkap. i m ³ /s	Einavatn	0	Svartungen	0	Mjøsa	0,282
---	----------	---	------------	---	-------	-------

% dyrka areal vatna	65	
%-del av vatning frå	Lenaelv	70
	Mjøsa	30

Figur 21. Praktiske konsekvensar - alternativ 0

6.3 Situasjon B

6.3.1 Hovudresultat - situasjon B

Situasjon A og B har same gjennomsnittlege vassføringa over året, men fordelinga er annleis.

Ein del av dei alternativa som tykkjest mest interessante ut frå situasjon A, er gjennomrekna med avrenningsdata tilhøyrande situasjon B, sjå tabell 7 og figur 22.

Alternativa S, T, U og V optimaliserer ein og ein målfunksjon, slik tabell 7 syner, medan alternative W, X og Y syner ulike kombinasjonar av måla 6-9.

Det er speiselt to tilhøve vi merkar oss, jamført med situasjon A:

1. Alternativ X, som tilfredsstillar krav om minstevassførinar og drikkevassseksport, gjev løysing dersom ein tillet import av vatn frå Hurdal. I situasjon A, alternativ R, greidde vi oppfylle alle vilkår utan import frå nabovassdrag.
2. Alternativ Y, som skal gje beste måloppnåing for måla 6-9, gjev eigentleg ikkje lovleg løysing, sjølv med import av vatn. Grunnen er at utan magasin ved Vindflomyra kan ein ikkje oppfylle kravet om minstevassføring nedstrøms Vindflomyra med så liten sommarvassføring som i situasjon B. Eventuell import vil først bidra lenger nede i vassdraget. Slik vi har definert målet om minstevassføringar, er det først oppfylt når alle strekningar har tilstrekkeleg vatn i alle sesongar.

Vi har difor teke bort kravet om minstevassføring på strekninga rett nedstrøms Vindflomyra om sommaren, og kalla dette alternativet Y.^x

6.3.2 Praktiske konsekvensar - situasjon B

Figurane 23-26 syner i nærare detalj kva praktiske konsekvensar alternativa inneber.

Tabell 7. Resultat - situasjon B

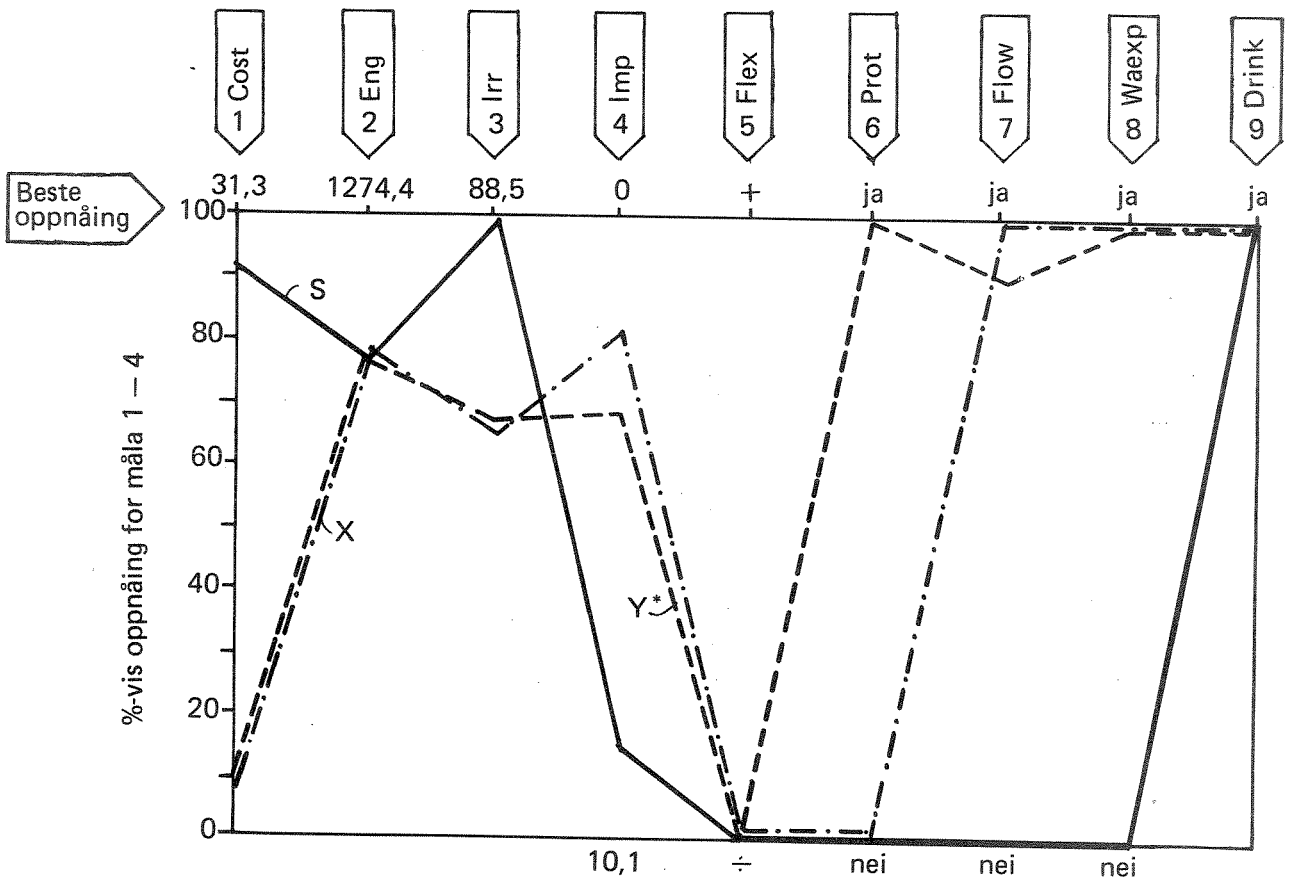
MAL		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	COST		ENG	IRR	IMP	FLEX	PROT	FLOW	WAEXP	DRINK
	10 ⁶ kr		MWh/år	km ²	10 ⁶ m ³ /år	subj.	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja

Eining

S	COST	- 29,0	990	88	8,6	-	nei	nei	nei	ja
T	IRR	- 29,0	990	88	8,6	-	nei	nei	nei	ja
U	IMP	- 13,8	990	64	0	-	nei	nei	nei	ja
V	FLOW	- 19,0	1009	87	9,8	-	nei	ja	nei	ja
W		- 4,1	1009	62	1,9	-	nei	ja	nei	ja
X		- 1,9	1009	58	2,0	-	nei	ja	ja	ja
Y ^{x)}		- 2,3	990	60	3,2	-	ja	ja ^{x)}	ja	ja

x) minstevassføring ikkje oppfylt rett nedstrøms Vindflomyra

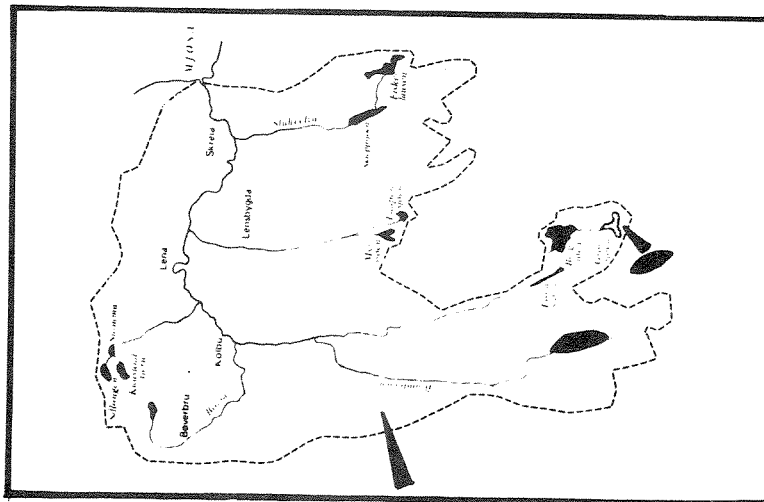
U T G Å R



Figur 22. Situasjon B. Alternativa S, X og Y^x.

Alt. S	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 29,0	990	88	8,6	-	nei	nei	nei	ja
Eining	106 kr	MWh/år	km ² /år	106m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

M = magasin
 E = energiprod.
 D = drikkevatt
 J = jordvatning
 I = import



Nyttavolum % av max volum	Fiske- lausen	Skjepp- sjøen	Laupend- sjøen	Myr- sjøen	Sillon- Slomma Kauserudtjern	Steffens- tjern	Vindflo- myra	Lønn- sjøen	Berg- sjøen	Grøn- sjøen	Svart- ungen	Vaexp		Grunn- vatt
												0	0	
052	051	063	064	101	111	122	14	15	16	17	0	0	0	
100	62	100	100	28	0	100	0	37	0	8	0	0	0	
Hushald	m ³ /s	0,035											0,042	0
Industri	m ³ /s	0											0,14	0

Landheim veveri	Kvernnum bruk
76	79

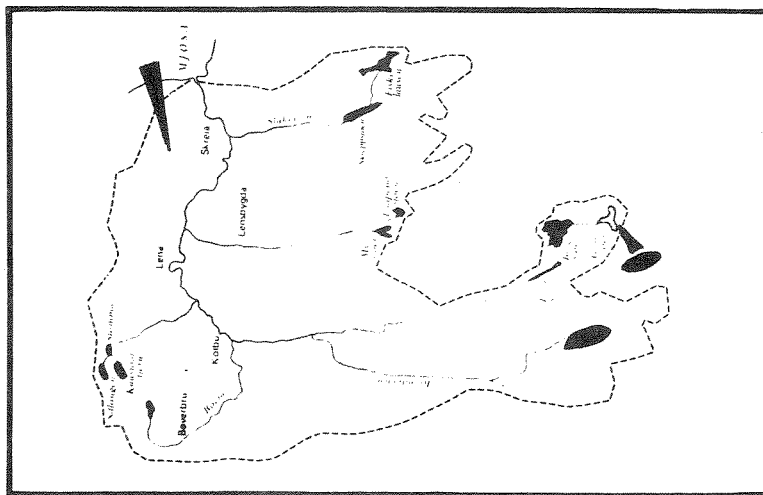
Einavatn	Svartungen	Mjøsa
Nødv. gj.snitt importtkap. i m ³ /s	0,034	0

% dyrka areal vatna	95
%del av vatning frå	Lenaelv
	Mjøsa
	100
	0

Figur 23. Praktiske konsekvensar - alternativ S

Alt. W	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 4,1	1009	62	1,9	-	nei	ja	nei	ja
Eining	10 ⁶ kr	MWh/år	km ² /år	10 ⁶ m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

M = magasin E = energiprod. J = jordvatning
 D = drikkevatt I = import



Nyttavolum % av max volum	Fiske-lausen	Skjepp-sjøen	Laupend-sjøen	Myr-sjøen	Silongen Slomma Kauserudtjern	Steffens-rudtjern	Vindflo-myra	Lønn-sjøen	Berg-sjøen	Grøn-sjøen	Svart-ungen	Vaexp		Grunn-vatt
												0	0	
052	051	063	064	101	111	122	14	15	16	17	0	0	0	0
100	100	100	100	28	0	100	0	43	0	26	0,042	0,014	0	0
Hushald	m ³ /s	0,035												
Industri	m ³ /s	0												

M

Landheim veveri

% prod. av max. 78

Kvernum bruk

80

Figur 24. Praktiske konsekvensar - alternativ W

D

Nødv. gj.snitt importkap. i m³/s

Einavatt 0

Svartungen 0,079

Mjøsa 0,350

E

% dyrka areal vatna

67

I

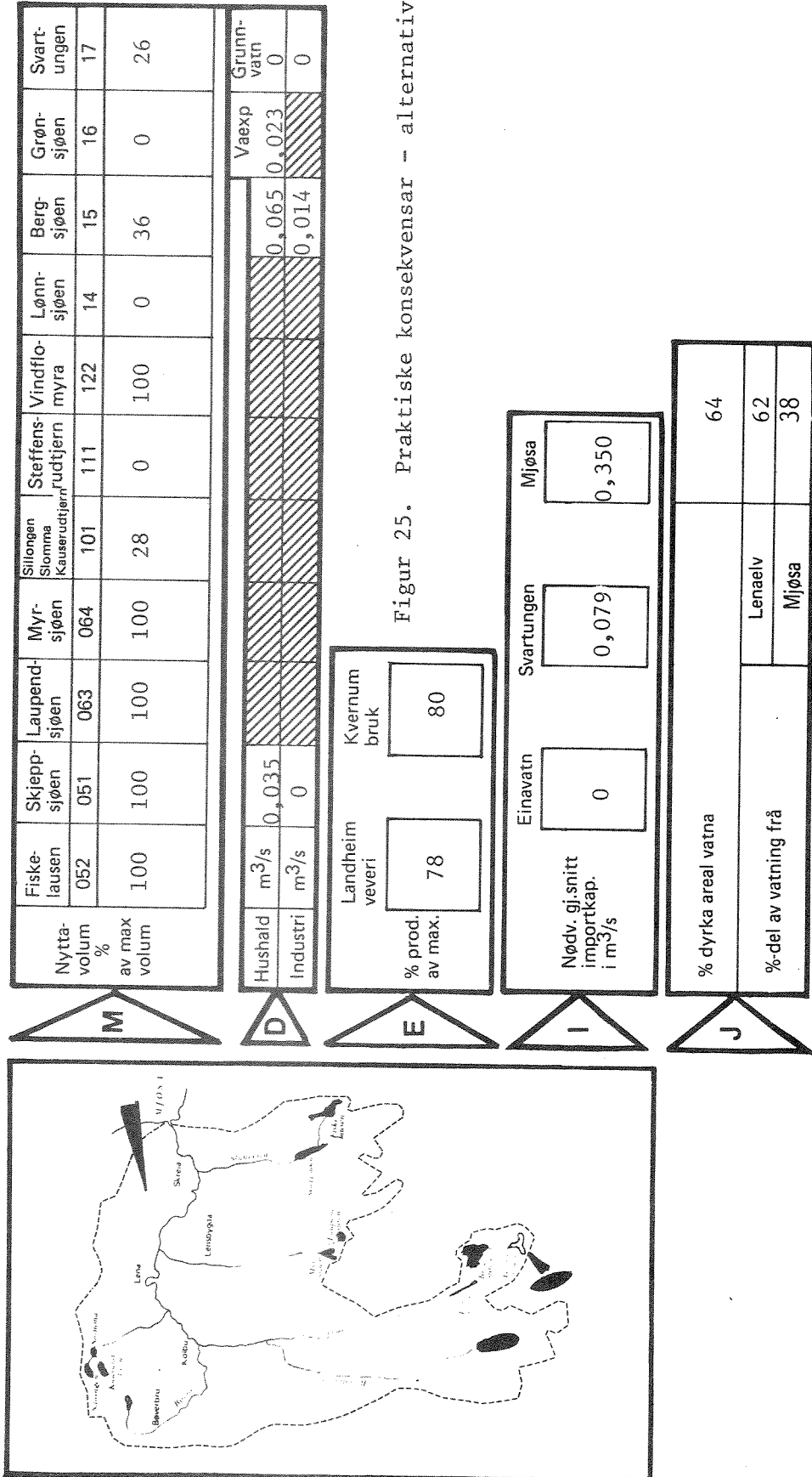
%-del av vatning frå

Lenaelv 64

Mjøsa 36

Alt. X	1 Cost	2 Eng	3 Irr	4 Imp	5 Flex	6 Prot	7 Flow	8 Waexp	9 Drink
Måloppnåing	- 1-9	1009	58	2,0	-	nei	ja	ja	ja
Eining	10 ⁶ kr	MWh/år	km ² /år	10 ⁶ m ³ /år	Subjektiv	Ja/nei	Ja/nei	Ja/nei	Ja

M = magasin E = energiprod. J = jordvatning
 D = drikkevatt I = import



Figur 25. Praktiske konsekvensar - alternativ X

6.4 Vurdering av utsagnskraft

Situasjonane som er gjennomrekna byggjer på eit stort tal føresetnader. Sett i stort er alle desse føresetnadene rekna ugunstig.

Tilgjengeleg magasinvolum for alle magasin er sett til null før vårflaumen set inn. Med dei vassføringane som er føresett i situasjonane A og B, vil ein ikkje greie å fylle opp større magasin i vårflaumen, og tilgjengeleg volum for bruk sommar og haust blir lite. Slike magasin treng gunstige år etter kvarandre for å fyllast.

For Bergsjøen er det rekna spesielt ugunstig, idet det her i realiteten er snakk om ei senking av reguleringshøgda i høve til i dag. Likevel har vi, for å få fram ytterpunkt, rekna at tilgjengeleg volum er null ved starten på vårflaumen. Dette fører til at kun 1/3 av totalt tilgjengeleg reguleringsvolum er aktivert. Det er på denne bakgrunnen vi må vurdere m.a. alternativ W og X i situasjon B, der det må importerast vatn frå Hurdal.

Avrenninga frå delområda er kun tilført i nedre knutepunkt, medan minstevassføringane for strekningane gjeld frå oppstrøms knutepunkt. Det ligg truleg ei dobbel sikring i desse verdiane. For det første veit vi at metoden gjev tryggleiksfaktor. Dessutan vil ein ofte ta litt ekstra i når ein set verdjar for minstevassføringar. Det er ikkje gjennomført meir detaljerte sensitivitetsstudiar for minstevassføringar i dette prosjektet, men område av spesiell interesse er lokalisert.

Ein rår frå å bruka resultat, tal og figurar til anna enn det som er tenkt, å gje eit breiast mogeleg oversyn over aktuelle tiltak i vassdraget. Den relative skilnaden mellom ulike alternativ er av størst interesse.

Spesielt gjeld dette for jordvatning. Sidan vi opererer med gjennomsnittsverdjar, kjem vi mykje høgre enn i eit konkret, praktisk tilfelle.

For konkrete, vidare tiltak syner vi til kapittel 7.2. Det som er spanande, er at det tykkjest liggja til rette for løysingar som på rimeleg måte kan tene alle interesser i vassdraget.

7. FØREBELS PROSJEKTURDERINGAR

7.1 Generelt

Vi har sett oss som mål å vurdere på ein praktisk måte om ein utvalsmodell fremjar ei rasjonell planlegging i Lenavassdraget. Det er først og fremst brukarane av planane, dvs. politikarane, som best kan gje dette svaret. Desse reaksjonane vil vi først få seinare, og vi tillet oss difor å gjera eigne, førebels vurderingar.

7.2 Vurdering av konkrete tiltak i Lenavassdraget

Som planleggarar har vi ikkje rett til å gjera forsøk på å vega mål mot kvarandre, og blanda oss borti politiske avgjerdsprosessar.

Vi er oss dette heilt medvite når vi nedanfor gjer ein del "friske vurderingar" av analyseresultata i dette arbeidet. Føremålet er helst å få ein politisk avgjerdsprosess i gang, og letta kommunikasjonen mellom planleggjar og politikar.

Vi fremjar følgande:

1. Eit eventuelt magasin ved Vindflomyra vil romme heller lite vatn, jamført med det behovet som er til jordvatning.
2. Ei opprusting og utviding av magasinane i Bergsjøen og Skjeppsjøen er aktuell, slik at dei tener både for drikkevassforsyning og jordvatningsføremål.
3. Minstevassføringane for elvestrekningane kan haldast sjølv om Bergsjøen vert framtidig drikkevasskjelde.
4. Omfanget av nyttbare grunnvassressursar i nedbørfeltet bør kartleggjast.
5. Overføring av vatn frå Einavatn til Lenavassdraget er teknisk mogleg og teoretisk interessant. Dei praktiske og politiske sidene ved ei slik overføring bør vurderast.

6. For jordvatningsføremål bør ein vurdere å føre vatn frå Mjøsa lenger innover i vassdraget enn i dag, i alle høve til Lena.

Det er ønskjeleg å få ein open og fri diskusjon på lokalt plan om desse tiltaka.

7.3 Generelle vurderingar av prosjektet

Vurdert som verktøy i planlegginga er det tre spesielle sider ved dette prosjektet:

- a) fleirmålsplanlegging
- b) lineær programmering - avgrensingsmetoden
- c) verdiprofil i resultatframstillinga

Førebels ser vi dette såleis:

- a) Det er viktigare at dei fleste sider ved prosjekta kjem fram enn at einskilde saker blir handsama i detalj. Fleirmålsplanlegginga må difor gjerne gjerast enkel, så lenge ein vaktar seg for denne fella:

"To prefer what can be counted, instead of what really counts"

- b) Bruk av ein formalisert matematisk metode er føremålstenleg i fleirmålsplanlegginga. Dette er ikkje så mykje fordi ein treng komplisert matematikk, men fordi den gjev eit greitt mønster for oversyn og samverknader.

Lineær programmering tykkjest vera av dei metodane som kan høve på eit oversiktleg nivå. Metoden er enkel, og det finst ferdige programpakker. Problemet melder seg først og fremst i detaljeringsgraden. For å unngå store modellar, må ein operere noko grovt, men dette samsvarer godt med vårt ønskje om å gå breitt ut i startfasen.

Avgrensingsmetoden kan av og til gjera det litt komplisert å finna lovlege løysningar, men er elles enkel og grei.

Eitt av problema er at tilgjengeleg informasjonsmengde blir stor, og det er vanskeleg å nyttiggjera seg alle resultata som kjem fram utan at det finst eit godt opplegg for dette.

- c) Verdiprofil i resultatframstillinga gjev på ein grei og enkel måte eit totaloversyn over prosjekta.

Resultata kan framstillast utan at ein gjev spesifikke vektorer og prioriterer dei einiskilde måla.

Det er likevel eitt viktig aspekt ein bør merka seg: synet kan bedra, idet val av skala for dei einiskilde måla vil ha avgjerande verknad for korleis prosjektet "tek seg ut".

Med atterhaldet i punkt 7.1 i minne, vil vi frå planleggaren sin synsstad hevda at bruken av ein LP-modell er eit hensiktsmessig første skritt i ein planleggingsprosess.

7.4 Vidare arbeid

Ei naturleg oppfølging av prosjektet kan vera:

1. Innhenta reaksjonar og synsmåtar på arbeidet frå lokalt hald, med spesiell tanke på å utvikla eit grunnlag for samspelet planleggar, politikar og matematisk modell.
2. Utvikla eit enkelt program for modellgenerering og resultattolking, slik at det blir enkelt å formulera modell og føresetnader, og lett å få ut dei resultat som er av spesiell interesse.

Vi understrekar ordet enkelt. Generelt er vi reserverte overfor altfor stor grad av automatikk i modellgenereringa. Det vil ikkje gje planleggar og politikar god føling med dei tal og storleikar ein opererer med.

3. Studera i større grad av detaljar dei alternativa som synest mest aktuelle ut frå denne analysen. Dette kan på tenleg måte gjerast i einsimuleringsmodell, og NVE er i gang med eit slikt prosjekt.

8. REFERANSAR

- (1) Råheim, J., Thaulow, H. og Øren, K.:
The Systems Approach in Water Resources Management.
Rapport frå studietur til USA og Canada i mai/juni 1980.
O-78028-05, OF-80608, NIVA, Oslo 1980.
- (2) Major, David C. & Lenton, Toberto L. (editors):
Applied water resource systems planning.
Prentice-Hall, Inc., USA 1979.
- (3) Burges, Stephen J.:
Simulation of water resource systems.
Paper presented at National Workshop on Reservoir Systems Operations,
University of Colorado, Boulder, Colorado, August 13-17, 1979.
- (4) Adams, I.L.:
Conceptual Blockbusting.
H.H. Freeman Book Co., 1974.
- (5) Strand, Sverre:
Modellfilosofi og effekten av usikkerhet i input og modelldesign.
TØI-notat, 5. november 1968.
- (6) Rogers, Peter:
On the Choise og the "Appropriate Model for Water Resources Planning
and Management".
Water Resources Research 14(6), December 1978.
- (7) Roald, Lars og Øren, Kjell:
Systemanalyse av Lenavassdraget.
16. nordiske symposiet om vannforskning, Kungälv.
NORDFORSK 1980:3.
- (8) Thaulow, H., Råheim, J. og Moland, T.:
Framdriftsrapport om arbeidet med Lenaelv som prøvevassdrag for
metodeutvikling av vannbruksplanlegging.
NIVA, O-77098, A4-25, 1979.

- (9) Buflod, H., Lerstang, T. og Viste, J.O.:
Konsekvensanalyser for vannbruksplanlegging.
Eksempel fra Lenavassdraget.
Norsk institutt for by- og regionforskning, Oslo 1980.

- (10) Hegna, Håvard og Gjelsvik, Anders:
Brukerveiledning for datamaskinprogrammet LINE.
Lineær programmering på NORD 10/NORD 100.
TR 2639, EFI 1980.

- (11) Churchman, C. West:
The Systems Approach.
Dell Publishing Co., Inc., New York 1968.

- (12) Cohon, Jared L.:
Multiobjective Programming and Planning.
Academic Press, New York 1978.

V E D L E G G

DRIKKEVASSFORSYNING

1. Dagens situasjon

I nedbørfeltet er det i dag 4 vassverk:

Vassverk	Personar tilknytta		Gj.snittsforbruk	
	i nedbør- feltet	utanom ned- børfeltet	$10^6 \text{ m}^3/\text{år}$	$\text{m}^3/\text{døgn}$
Kolbu/ Sivesind	2.000	4.000	1,1	3.000 ^x
Lensbygda	2.900		0,5	1.450
Lena	2.200		0,4	1.100
Skreia	6.000		1.1	3.000
Sum	13.100	4.000	3,1	8.550

^x herav $2.000 \text{ m}^3/\text{d}$ som eksport til V. Toten. Hygienisk sett er det kun Kolbu/Sivesind og Skreia vassverk som er tilfredsstillande.

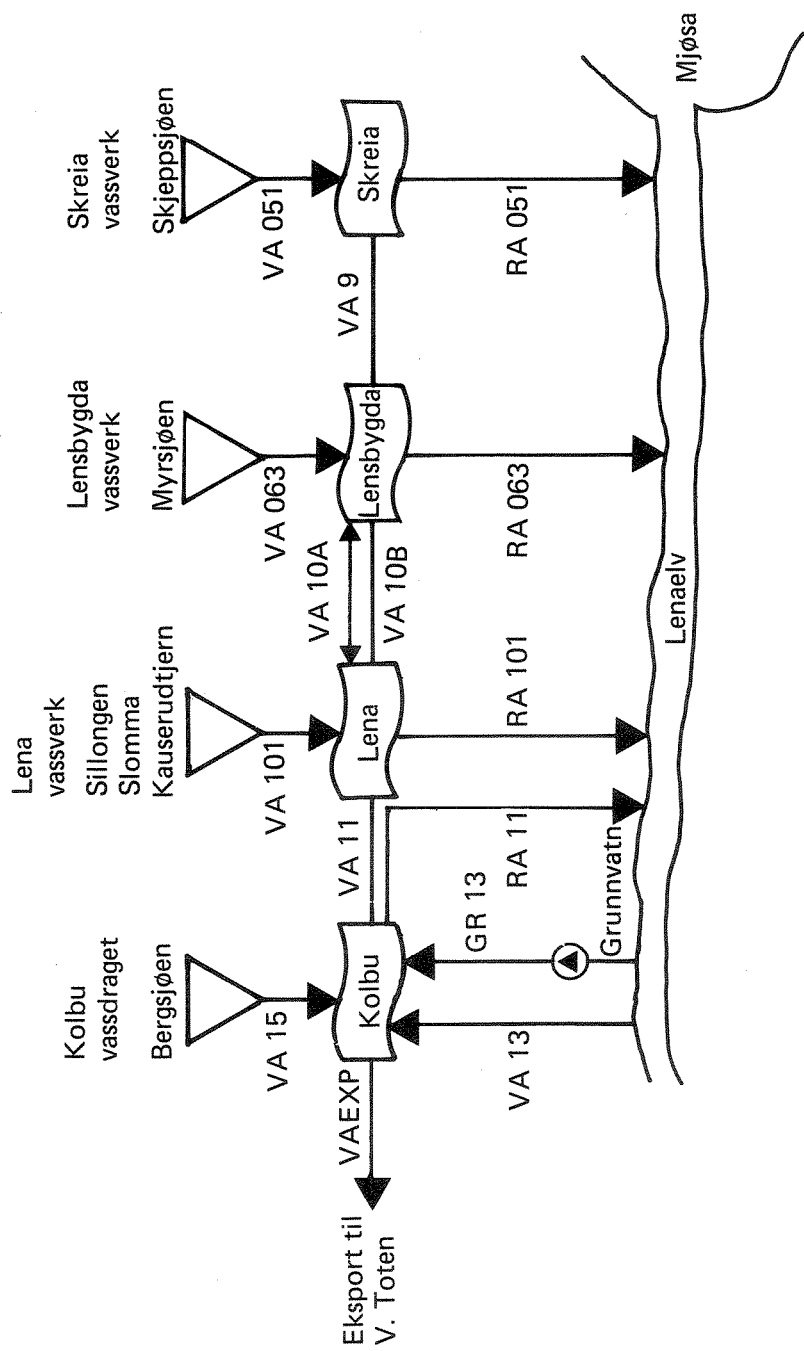
2. Framtidig situasjonDrikkevasskjelder:

Fig. A1 syner dei vasskjeldene som kan reknast med i modellen. Alle eksisterande kjelder er med, og kan vera aktuelle med tilstrekkeleg opprusting. Ei ny kjelde er medteken, grunnvatn kring Kolbu. Vi veit i dag ikkje om dette er eit realistisk alternativ.

Dessutan er det lagt opp til kopling mellom dei vassverka som er i dag, jfr. figur A1.

Forbruk og forbruksvariasjonar

Det er ikkje rekna med endringar i vassforbruket til hushald i høve til situasjonen i dag. Sidan dagens forbruk er rekna så høgt som $500 \text{ l}/\text{pd}$, er det rom for mindre auke i folketalet og noko industriforbruk innanfor dei tala som er nytta:



Figur A1. Modellskisse av vassforsyning til hushald

Forbruk i	Gjennomsnitt m ³ /s		Sum m ³ /s
	i nedbørfeltet	Utanom nedbørfeltet	
Kolbu Eksport til V. Toten	0,012	0,023	} 0,035
Lena	0,013		0,013
Lensbygda	0,017		0,017
Skreia	0,035		0,035
Totalt	0,077	0,023	0,100

Forbruket av vatn er delt såleis på dei 4 sesongane:

Sesong	Faktor $\frac{\text{aktuelt forbruk}}{\text{midl. forbruk}}$
1	0,8
2	1,0
3	1,3
4	0,9

3. Teknisk/økonomiske føresetnader

Tala nedanfor byggjer på enkle ingeniørmessige vurderingar.

3.1 Opprusting av vassverk til tilfredsstillande standard teknisk/hygienisk sett.

Vassverk		Anlegg mill.kr	Årleg drift mill.kr	Noverdi mill.kr	Omlag prod. m ³ /s	Noverdi <u>mill.kr</u> m ³ /s
Kolbu/ Sivesind	VA15	8,0	0,04	8,5	0,058	146,-
Skreia	VA051	4,-	0,38	8,6	0,050	171,-
Lena	VA101	2,-	0,2	4,4	0,015	296,-
Lensbygda	VA063	2,-	0,2	4,4	0,020	222,-
Grunnvatn	GR13	7,-	0,2	9,4	0,035	270,-

3.2 Spesielle overføringsanlegg mellom vassverka

Leidning	Anlegg mill.kr	Årleg drift mill.kr	Noverdi mill.kr	Omlag prod. m ³ /s	Noverdi <u>mill.kr</u> m ³ /s
VA 11	5,-	-	5,-	0,030	167
VA 9	5,-	-	5,-	0,015	333

3.3 Eksport av vatn

Det er rekna med at evt. eksport av vatn til V. Toten vert betalt slik at det nett dekkjer kostnaden med utbygginga, dvs. inntekta er:

Noverdi
mill.kr/m³/s

VAEXP - 146,- (- inntekt)

INDUSTRIVASSFORSYNING

1. Dagens situasjon

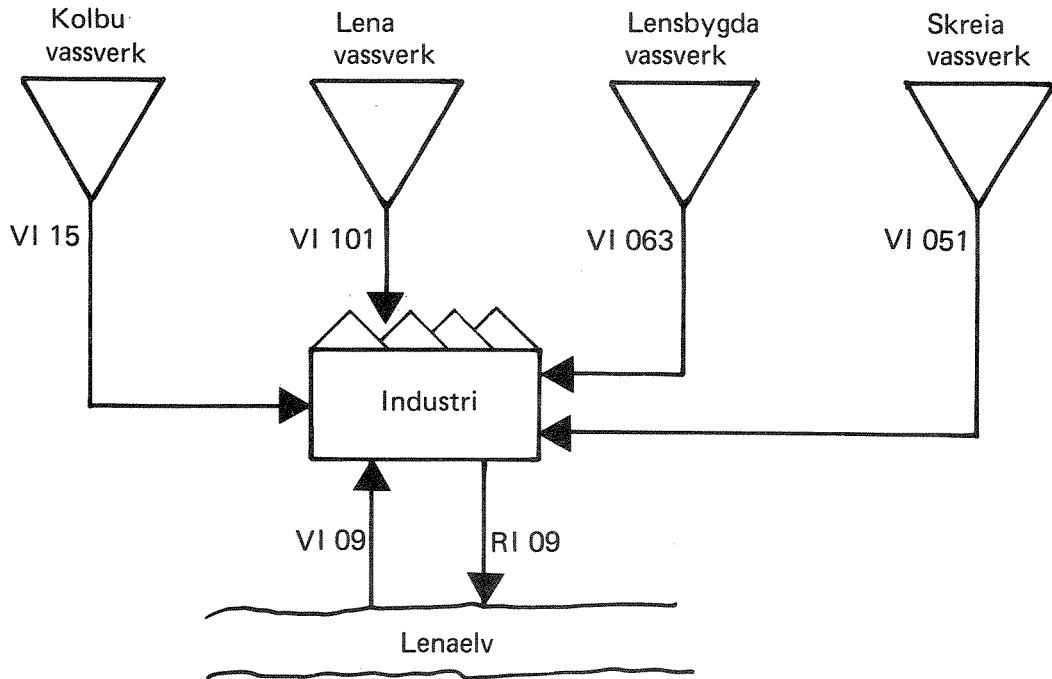
Vassforbruket til industriføremål er det hovudsakleg A/L Toten Potet-
industri som står for.

Basert på opplysningar frå fabrikkjen er forbruket i dag omlag følgjande
i gjennomsnitt:

Forsyning frå	Periode 4	Periode 1	Merkn.
	Potetmjøl- fabrikken	Brenneri	
Lensbygda vassverk	11,1 1/s 40 m ³ /h 86400 m ³ /sesong	1,7 1/s 6,3 m ³ /h 13600 m ³ /sesong	100.000 m ³ /år
Lena vassverk	2,8 1/s 10 m ³ /h 21600 m ³ /sesong	- - -	21.600 m ³ /år
Lenaelva	2,8 1/s 10 m ³ /h 21600 m ³ /sesong	2,2 1/s 9 m ³ /h 20000 m ³ /sesong	41.600 m ³ /år

2. Framtidig situasjon

Lensbygda og Lena vassverk er lite aktuelle for vanleg hushald i framtida grunna manglande tryggleik for hygienisk tilfredsstillande kvalitet. I modellen er industrivassforsyninga likevel lagt fleksibelt opp, slik at det er lett å endra føresetnader:



Produksjonen og vassforbruket er føresett vera det same som i dag, såleis:

Forsyning fra	Periode 4 Potetmjøsfabr.	Periode 1 Brenneri	Merknad
Vassverk	13,9 l/s 50 m ³ /h 108.000 m ³ /ses.	1,7 l/s 6,3 m ³ /h 13.600 m ³ /ses.	12.600 m ³ /år
Lenaleva	2,8 l/s 10 m ³ /h 21.600 m ³ /ses.	2,2 l/s 9 m ³ /h 20.000 m ³ /ses.	41.600 m ³ /år

3. Teknisk/økonomiske føresetnader i analysen

Som økonomisk kriterium nyttar vi skilnaden mellom kostnaden for vatnet i dag og i framtida med tilfredsstillande kvalitet.

Overslaget er basert på grovt skjønn. Med støtte i utrekningane gjort under drikkevannsforsyning er følgjande tal nytta:

	Symbol	Noverdi rekna som mill.kr/m ³ /s
Kolbu vassverk	VI 15	146,-
Lena vassverk	VI 701	296,-
Lensbygda vassverk	VI 063	222,-
Skreia vassverk	VI 051	171,-
Lenaelva	-	-

JORDVATNING

1. Dagens situasjon

Figur C1 syner kor stor del av det dyrka arealet i nedbørfeltet som kan vatnast frå Lenaelva og tilliggande elver/bekker i dag. Omlag 5.700 da, eller vel 6 % av det dyrka arealet, kan vatnast frå Lenaelva. Eit tilsvarende areal får vasstilførsle frå Mjøsa via 2 store fellesanlegg, slik at omlag 12 % av det dyrka arealet i dag kan få kunstig vasstilførsle om sommaren.

2. Framtidig situasjon

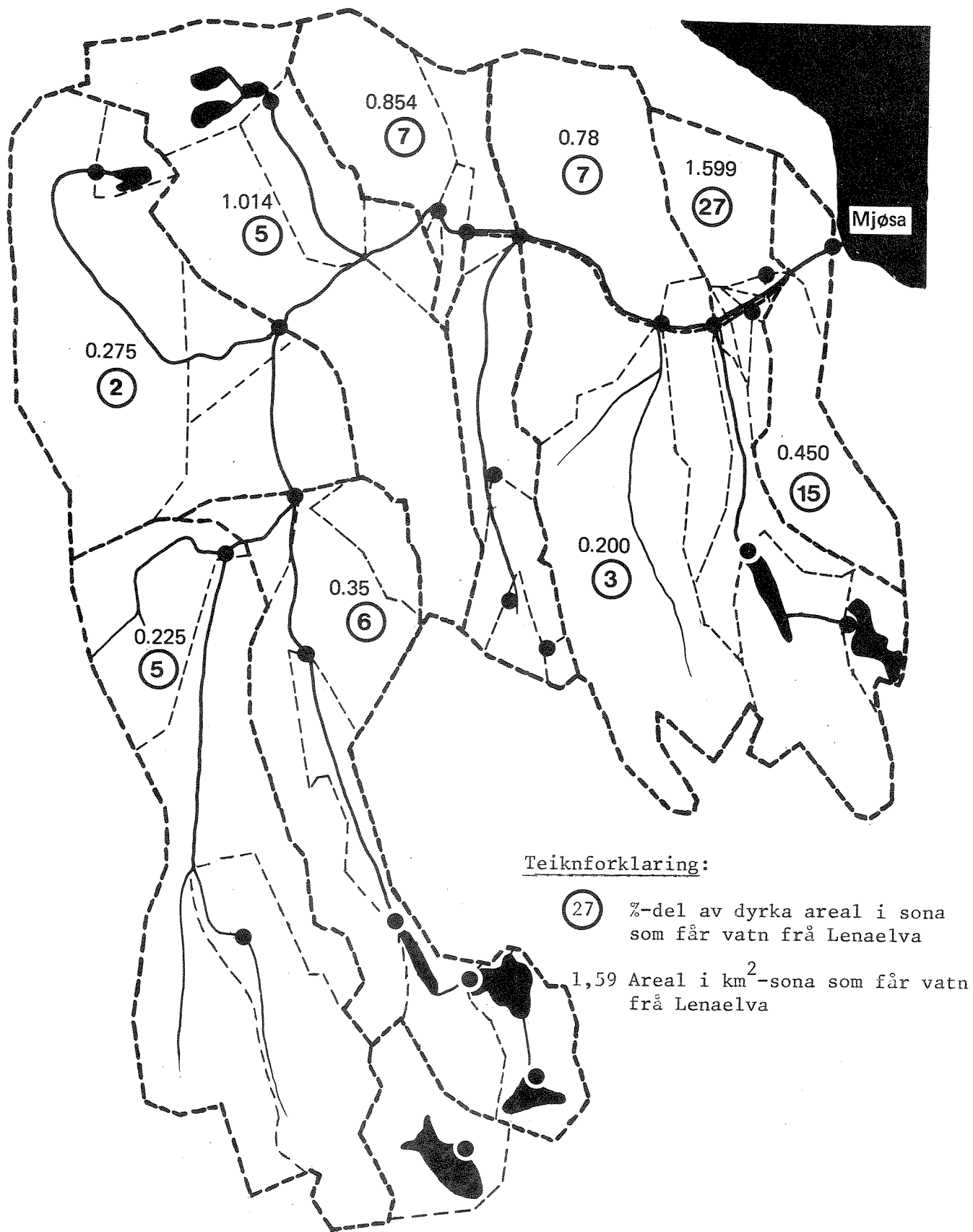
Eit oversyn over dei eksisterande anlegga syner at dei stort sett er dimensjonerte med eit forbruk på $0,20 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{da}$ (8), som med jamn vatning døgnet rundt tilsvarende $4,8 \text{ m}^3/\text{da} \cdot \text{døgn}$.

Dette maksimalbehovet utgjer 3,6 gonger det gjennomsnittlege behovet, som er jamnt rekna til $120 \text{ m}^3/\text{da} \text{ år}$ (8).

I tabellform:

Dimensjonarande forbruk		$0,20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{da}$
Gjennomsnittsforkbruk	$120 \frac{\text{m}^3}{\text{da} \cdot \text{år}}$	$= 0,055 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{da}$
Faktor $\frac{\text{dimensjonerande}}{\text{gjennomsnitt}}$		3,6
Gjennomsnittleg vatna areal:		$64.000 \frac{\text{da}}{\text{m}^3/\text{s}}$

Det er gjennomsnittleg vassforbruk som er nytta i vår modell. Meir detaljerte studiar av vatningsbehovet kan seinare danne grunnlag for vatningsreglement m.v. M.a. er det aktuelt å vurdera tapet ved manglande vatning, og ikkje berre som her i punkt 3, ei gjennomsnittsinntekt ved vatning.



Figur C1. Del av dyrka mark vatna frå Lenaelva i dag.

Vidare er det for vatna areal rekna med følgjande endring:

Vekster	Areal %-fordleing i dag	Areal %-fordeling i framtida
Korn	78 %	39 %
Poteter	19 %	58 %
Grønsaker	3 %	3 %
SUM	100 %	100 %

3. Teknisk/økonomiske føresetnader

I () er det gjort ein del overslag over pårekna økonomisk vinst ved vatning av jordareal. Vi gjev att dette direkte, såleis:

"Verdi av avlingsøkning

Antar følgende i LENAs nedbørfelt:

Kornareal 52.000 da, potetareal 13.000 da, grønnsakareal 1.700 da.

I dag vannes 10 % av arealet. Antar økning til 30 %, dvs. en differanse på 20 %. Antar følgende gjennomsnittsokning som følge av vatning:

Korn	40 kg/da	á kr 1,50/kg (1)
Poteter	300 "	" " 0,60/kg
Grønnsaker	450 "	" " 2.00/kg

Antar en forskyvning (50 %) av endel av det nyvatnete kornareal til poteter.

Korn

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot 52.000 \text{ da} \cdot 0,2 \cdot 40 \text{ kg/da} \cdot 1,50 \text{ kr/kg} &= \text{kr } 312.000,- \\ (2) -0,5 \cdot 52.000 \text{ da} \cdot 0,2 \cdot 400 \text{ kg/da} \cdot 1,50 \text{ kr/kg} &= \underline{\text{kr } 3.120.000,-} \\ &= - \text{kr } 2.808.000,- \\ &===== \end{aligned}$$

Poteter

Økning på eksist. areal 13.000 da · 0,2 · 300 kg/da · 0,60 kr/kg	= kr 468.000,-
+ nytt areal fra korn 0,5 · 52.000 da · 0,2 (1000 + 300) kg/da · 0,60 kr/kg	= " 4.056.000,- kr 4.524.000,- =====

Grønnsaker

1.700 da · 0,2 · 450 kg/da · 2,0 kr/kg	= kr 306.000,- =====
Økning = 4.524.000 + 306.000 - 2.808.000	= kr 2.022.000,- =====

- (1) Til produsent i 1979
- (2) Overgang til poteter

Reknar vi dette om til einingspris, finn vi at inntektsauken pr. år vil bli:

$$\frac{2.022.000 \text{ kr}}{13.340 \text{ da}} = \underline{\underline{152 \text{ kr/da}}}$$

Anleggskostnaden til vatningsanlegg er i same rapporten (9) set til kr 935,- pr. da., med årskostnad 194 kr/da. Dersom store fellesanlegg er aktuelle, må kostnaden for framføring av større vassmengder reknast separat.

Staten yter tilskot til vatningsanlegg, varierende frå 35 til 75 %. Som eit gjennomsnitt har vi rekna med at halvparten av kostnaden fell på bøndene, og får følgjande oppstilling for verdiskapinga innan sjølve nedbørfeltet:

Avlingsvinst ved vatning	152 kr/da. år
Årleg kostnad for anleggseigarane: $\frac{1}{2} \cdot 194 \frac{\text{kr}}{\text{da. år}}$	= <u>97 kr/da. år</u>

Netto vinst for eigaren ved vatning: 55 kr/da. år

Rekna om til noverdi (50 år, 8 % rente) utgjer dette 0,673 mill.kr/km²

Det knyter seg mykje usikkert til desse tala. Spesielt er grunnlaget spinkelt for å rekna den gjennomsnittlege inntektsauken som følgje av vatning, og det er behov for å analysera vatning nærare i ein meir detaljert simuleringsmodell seinare.

Import av vatn frå Mjøsa for vatningsføremål er aktuelt. Kostnaden for slike overføringsleidningar må reknast separat. Eit grovt overslag er nytta:

Kapasitet pumpeasjon: $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Overslag investering:

pumpeasjon	1,0 mill.kr
ledn. 5 km a 750 kr:	3,75 mill.kr
uforutsett	<u>0,25 mill.kr</u>
	<u>5,0 mill.kr</u>

Årleg drift:

Ca. 150 m løftehøyde, $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i 3 månader

Ca. 710.000 kwh a kr 0,18 = 128.000 kr

Noverdi drift (50 år, 8 % rente) = 1.565 mill.kr

<u>Noverdi:</u>	Investering:	5.0	mill.kr
	Drift:	<u>1.565</u>	"
	Sum	6.565	mill.kr
		$= \frac{6.565 \text{ mill.kr}}{0,20 \text{ m}^3/\text{s}}$	$= 32,8 \frac{\text{mill.kr}}{\text{m}^3/\text{s}}$

Fordeler dette såleis (jfr. fig.10) skjønnsmessig:

Noverdi:

VR01M	-	20	mill.kr/m ³ /s
VR02M	-	25	" "
VR06M	-	30	" "
VR07M	-	35	" "

ENERGIPRODUKSJON

1. Dagens situasjon

Det finst to mindre, private kraftverk nedst i vassdraget i dag, ved Kvernum bruk og Landheim veveri. Eventuell overskottskraft kan leverast direkte på offentleg nett.

2. Framtidig situasjon

Vi finn det ikkje realistisk å vurdere nye kraftverk i området, men reknar det som aktuelt å oppretthalde dei to kraftverka som finst i dag.

3. Teknisk/økonomiske føresetnader i analysen3.1 Tekniske føresetnader

Tabellane for Kvernum bruk og Landheim veveri gjev nytta tekniske føresetnader i modellen. Det er rekna omlag same installasjonar som i dag.


3.2 Økonomiske parametrar

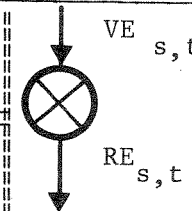
Som økonomisk kriterium kan ein nytta vinsten med energiproduksjon innan nedbørfeltet, jamført med kjøp av el-kraft utanfrå (frå stat eller fylke).

I utgangspunktet er kostnadene vurdert som om dei eksisterande kraftverka skulle byggjast heilt frå nytt av. Kostnadene i tabellen nedanfor er grove overslag, og må ikkje takast for noko anna.

Utgifter med bygging av nye kraftverk i vassdraget:

Utgifter rekna som	Kvernum bruk 1000 kr	Landheim veveri 1000 kr
Investeringskostnad	3.000	2.300
Kapitalkostnad 40 års avskrivingsperiode 7,5 % rente	240	180
Driftskostnad	30	23
Årskostnad	270	203
Pårekna årsinntekt	111	63

KNUTEPUNKT				LANDHEIM VEVERI	
NR.				Fallhøgda kan reknast konstant. Likningar merka x er med i modellen.	
02					
Energiproduksjon		$P_{st} - f \cdot e_s \cdot k_t \cdot VE_{s,t} \cdot H_{s,t} \leq 0$ (kWh)			
Omregningsfaktor	f	9,81	Likning for konstant $H_{s,t}$		
Økningsgrad	l_1	0,8	$P_{02,t} \leq 137,5 VE_{02,t}$ (MWh)		
Tidsperiode	h_t	1460 h			
Fallhøyde	$H_{s,t}$	12 m			
Kapasitetsgrense A		$P_{st} - h_t \cdot CAP_s \leq 0$			
Tidsperiode	h_t	1460 h	Likning:		
Install.kap.	CAP	105 kW	$P_{02,t} \leq 153,3$ (MWh)		
Kapasitetsgrense B		$VE_{s,t} - VE_{s,MAX} \leq 0$			
Max. vassføring	VE_{sMAX}	$0,9 \text{ m}^3/\text{s}$	Likning:		
			$VE_{02,t} \leq 0,9$ (m^3/s) ^x		
Kapasitetsgrense C		$VE_{s,t} - VE_{s,MIN} > 0$			
Min. vassføring	VE_{sMIN}		Likning:		
Kontinuitet:		$VE_{s,t} = RE_{s,t}$			
		$VE_{02,t} = RE_{02,t}$ (m^3/s) ^x			

KNOTEPUNKT NR. <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> 04		KVERNUM BRUK Fallhøgda kan reknast konstant. Likningar merka x er med i modellen.	
Energiproduksjon		$P_{st} - f \cdot e_s \cdot k_t \cdot VE_{s,t} \cdot H_{s,t} \leq 0$ (KWh)	
Omrekningsfaktor	f	9,81	Likning for konstant $H_{s,t}$: $P_{04,t} \leq 194.8 VE_{04,t}^x$ (MWh)
Økningsgrad	l_s	0,80	
Tidsperiode	h_t	1460 h	
Fallhøyde	$H_{s,t}$	17 m	
Kapasitetsgrense A		$P_{st} - h_t \cdot CAP_s \leq 0$ (KWh)	
Tidsperiode	h_t	1460 h	Likning: $P_{04,t} \leq 233,6$ (MWh)
Install.kapasitet	CAP	160 KW	
Kapasitetsgrense B		$VE_{s,t} - VE_{s,MAX} \leq 0$	
Max. vassføring	$VE_{s,MAX}$	$1,0 \text{ m}^3/\text{s}$	Likning: $VE_{04,t} \leq 1,0 \text{ (m}^3/\text{s)}^x$
Kapasitetsgrense C		$VE_{s,t} - VE_{s,MIN} > 0$	
Min. vassføring	$VE_{s,MIN}$		Likning:
Kontinuitet:		$VE_{s,t} = RE_{s,t}$	
			Likning: $VE_{04,t} = RE_{04,t} \text{ (m}^3/\text{s)}^x$

Produksjonskostnad basert på 9 måneders drift:	29 øre/kwh	39 øre/kwh
Pårekna salsverdi	17 øre/kwh	17 øre/kwh
Pårekna kostnad for kjøp av kraft utanfrå	12 øre/kwh	12 øre/kwh

Dette reknestykket indikerar at det i dag ikkje ville vera aktuelt å byggja noko heilt nye kraftverk der dei to ligg i dag. Når anlegga likevel er i drift i dag, er det sjølvstøtt fordi produksjonskostnaden i dag ikkje er så stor som tabellen syner.

Det er også mogleg at stasjonane kan rustast opp til ein vesentleg mindre kostnad enn oppført. Jamført med alternativet, å kjøpa kraft utanfrå, må innsparinga difor også vera moneleg for at eigenproduksjonen skal vera lønsam. I alle høve kan ein rekna små økonomiske tap om anlegga ikkje er i drift.

Utan at det ligg detaljerte funderingar bak, har vi i modellen nytta følgjande tal; likt for begge verk:

Salsverdi av energiproduksjon:	17 øre/kwh
Produksjonskostnad:	<u>10 øre/kwh</u>
Netto vinst ved produksjonen:	<u>7 øre/kwh</u>

For kvart av kraftverka får vi då følgjande modellparametrar:

Kvernum bruk: Netto inntekt pr. sesong m/full produksjon:

$$\frac{\text{kr } 0,07}{\text{kwh}} \cdot 194.800 \frac{\text{kwh}}{\text{sesong}} = 13.636 \text{ kr/sesong}$$

$$\text{eller med } 1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ i sesongen: } 13.636 \frac{\text{kr}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

$$\text{Noverdi (50 år, 8 \%): } 0,1668 \frac{\text{mill.kr}}{\text{m}^3/\text{sesong}}$$

Landheim veveri:

Netto inntekt pr. sesong m/full produksjon:

$$\frac{\text{kr } 0,07}{\text{kwh}} \cdot 137.500 \frac{\text{kwh}}{\text{sesong}} = 9.625 \frac{\text{kr}}{\text{sesong}}$$

eller med $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ i sesongen: $10.694 \text{ kr}/\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{sesong}$

Noverdi: (50 år, 8 %): $0,1308 \text{ mill.kr}/\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{sesong}$

MINSTEVASSFØRINGAR

1. Dagens situasjon

Vassdraget har ein lokal fiskestamme, i tillegg til Mjøsaure som vandrar opp i elva. Figur E1 syner dei elvestrekningane der dei to typane vil finnast.

For at oppgang av Mjøsaure skulle bli mogeleg, er det bygt fisketrapper i elva. To av dei er lokalisert til Skreia, ei til Lena og ei til Lønnsjøen.

For at desse fisketrappene skal fungera etter føremålet, treng dei ei viss minstevassføring.

2. Framtidig situasjon

Det er ikkje rekna med endringar i lokalisering av fiskestammene. For at fisken skal få best mogleg tilhøve, er det om å gjera at naturlege vassføringsvariasjonar blir oppretthaldne. I screening-modellen er slike omsyn ikkje mogeleg å ta inn. Vi reknar difor i staden med nedre grenser på dei gjennomsnittlege vassføringane på elvestrekningane for kvar av dei 4 årssesongane.

Nytta grenseverdier er sett opp i samråd med fiskeriteknikar Ole Nashoug, og er synt i tabell E1.

Desse grenseverdiane er sette ut frå både kvantitative og kvalitative omsyn.

3. Teknisk/økonomiske føresetnader i analysen

Dei 4 fisketrappene som er bygde, utgjør ei investering på kring 0,5 mill.kr, eller grovt rekna ein årskostnad (kapital, drift og vedlikehald) på 50.000 kr. Kapitalkostnaden er største posten, ca. 40.000 årleg, og det kostar truleg ikkje meir enn 10.000 årleg å halda trappene i drift.

På inntektssida kjem verdien av den fisken ein tek opp frå elva. Sidan det her er snakk om sportsfiske, er det sjølv sagt uråd å bruka nokon marknadspris. Vi har difor ikkje sett nokon eksplisitt kroneverdi på rekreasjonsinteressene, men rekna slik:

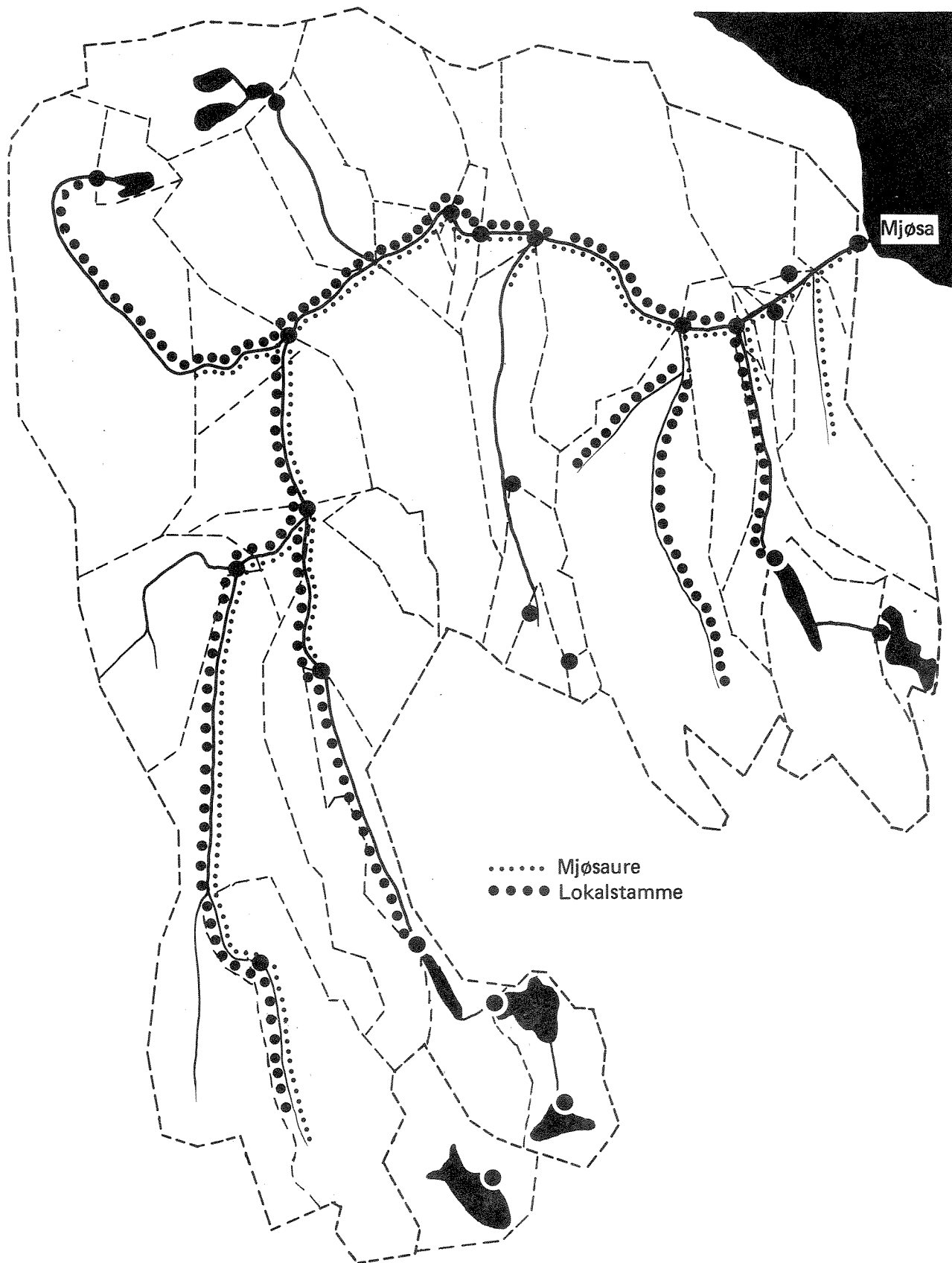
Årlege utgifter:	Fisketrapper i gang	Fisketrapper ikkje i gang
Kapitalkostnad	40.000 kr	40.000 kr
Drift og vedlikehald	10.000	-
Årskostnad	50.000 kr	40.000 kr

Sidan fisketrappene er bygde, er det berre 10.000 kroner årleg som det finst alternativ bruk av, og dette utgjør ein noverdi på 0,122 mill.kr.

Reinvestering reknar ein ikkje aktuelt i perioden.

Reknar vi utgiftene knytta til fisketrappene nedst i vassdraget i sesong nr. 3, får vi modellparameteren

$$0,122 \frac{\text{mill.kr}}{0,25 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{sesong}} = 0,488 \frac{\text{mill.kr}}{\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{sesong}}$$



Figur E1. Fisk i vassdraget

Strekning		SESONG							
		1 des., jan., febr.		2 mars, april, mai		3 juni, juli, aug.		4 sept., okt. nov.	
Øvre knp. nr.	Nedre knp. nr.	Q _{min} m ³ /s	Bestemt av	Q _{min} m ³ /s	Bestemt av	Q _{min} m ³ /s	Bestemt av	Q _{min} m ³ /s	Bestemt av
17	16	0	-	0	-	0	-	0	-
16	15	0	-	0	-	0	-	0	-
15	14	0,025	fisk	0,025	fisk	0,025	fisk	0,025	fisk
14	13	0,050	fisk	0,050	fisk	0,050	fisk	0,050	fisk
13	12	0,050	fisk	0,050	fisk	0,050	fisk	0,050	fisk
122	121	0,020	fisk	0,020	fisk	0,020	fisk	0,020	fisk
121	12	0,035	fisk	0,035	fisk	0,035	fisk	0,035	fisk
12	11	0,085	fisk	0,085	fisk	0,085	fisk	0,085	fisk
111	11	0,030	fisk	0,030	fisk	0,030	fisk	0,030	fisk
11	9	0,115	fisk	0,115	fisk	0,115	fisk	0,115	fisk
101	9	0	-	0	-	0	-	0	-
9	7	0	-	0	-	0	-	0,250	fiske- trapp
7	6	0,400	fisk	0,250	gen.	0,250	gen.	0,500	gen.
63	62	0	-	0	-	0	-	0	-
64	62	0	-	0	-	0	-	0	-
62	6	0,020	-	0	-	0	-	0	-
6	5	0,400	fisk	0,250	fisk	0,250	fisk	0,400	fisk
52	51	0,020	fisk	0,020	fisk	0,020	fisk	0,020	fisk
51	5	0,060	fisk	0,060	fisk	0,060	fisk	0,060	fisk
5	2	0	-	0	-	0	-	0,250	fiske- trapp
2	1	0	-	0	-	0	-	0,250	fiske- trapp
1	0	0,400		0,400		0,400		0,400	

Tabell E1. Minstevassføringar

DAMMAR OG OVERFØRINGAR

1. Dagens situasjon

Følgjande magasin er i dag regulerte; hovudsakleg for drikkevassforsyning og energiproduksjon:

Skjeppsjøen
Fiskelausen
Laupendsjøen
Myrsjøen
Lønnsjøen
Bergsjøen
Slomma
Sillongen
Kauserudtjern

Typisk for nedbørfeltet er at magasinane ligg i utkanten av feltet, figur Fl. Det er difor relativt små reguleringsmagasin.

Det er ikkje spesielle anlegg (bortsett frå vatning) som fører vatn inn i nedbørfeltet.

2. Framtidig situasjon

Alle eksisterande magasin er aktuelle, i tillegg til

Steffensrudtjern
Vindflomyra
Grønsjøen

Det er føresett at magasinane Fiskelausen, Myrsjøen og Lønnsjøen blir haldne på det noverande nivået. Dessutan reknar vi med at to vatn utanom nedbørfeltet kan vera aktuelle for overføring:

Einavatn
Svartungen

For Einavatn inneber ikkje dette noko spesielle reguleringsordningar. Svartungen må derimot utrustast til dette. For begge desse eksterne kjeldene må overføringsanlegg byggjast.

3. Teknisk/økonomiske føresetnader

3.1 Tabell Fl syner reguleringsvolum og kostnader som er nytta.

3.2 Overføringsanlegg

Frå Einavatn:

Overføringskapasitet $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Investering:

4,3 mill.kr

Drift: årleg 0,125 mill.kr noverdi

1,5 "

5,8 mill.kr

$$\text{Noverdi: } \frac{5,8 \text{ mill.kr}}{0,5 \text{ m}^3/\text{s}} = 11,6 \frac{\text{mill.kr}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

Frå Svartungen:

Overføring av $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Investering

3,9 mill.kr

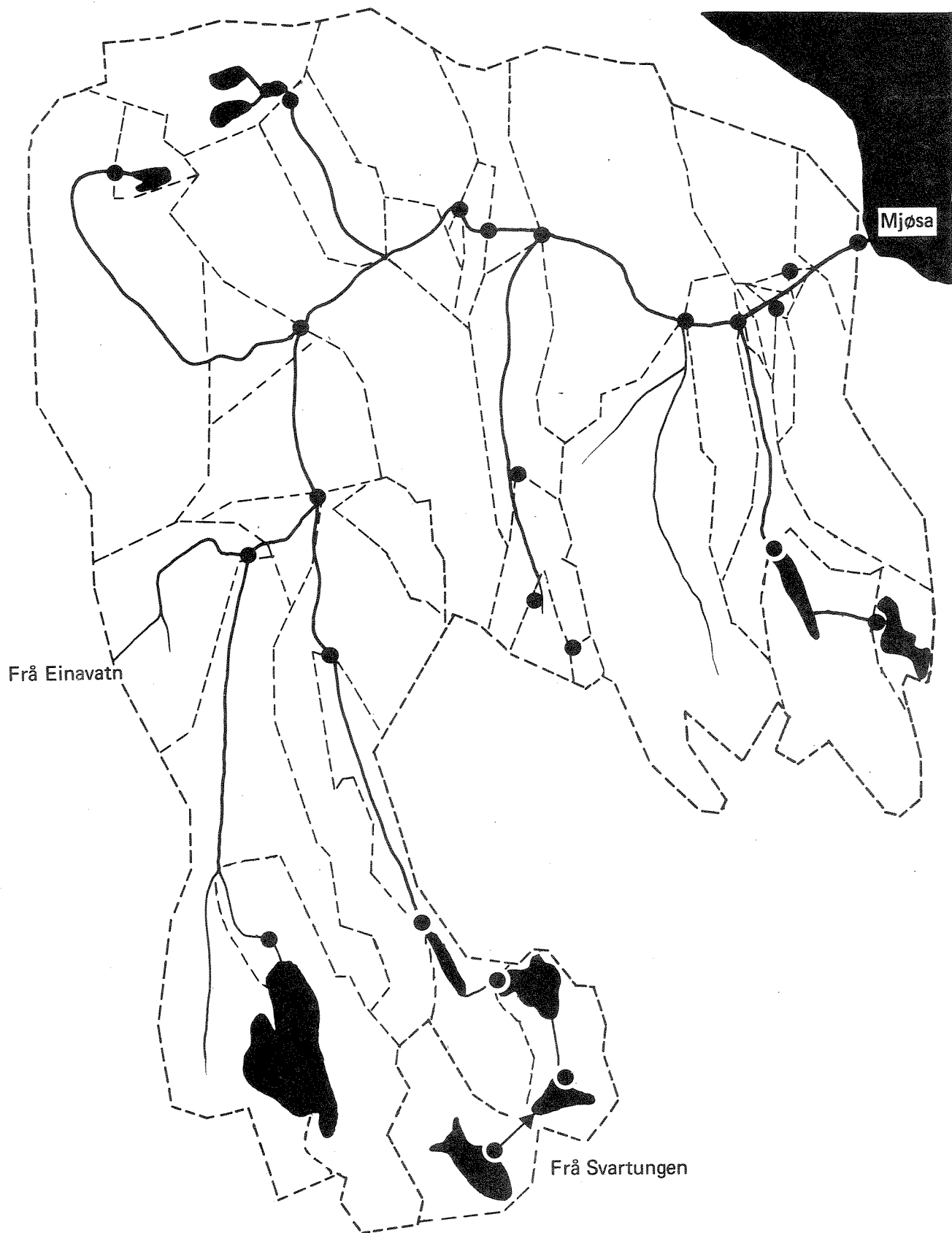
Drift - årleg 0,150

noverdi

1,8 "

5,7 mill.kr

$$\text{Noverdi: } \frac{5,7 \text{ mill.kr}}{0,2 \text{ m}^3/\text{s}} = 28,5 \frac{\text{mill.kr}}{\text{m}^3/\text{s}}$$



Figur F1. Mogelege reguleringsmagasin og overføringar

Magasin	Reg.volum			Invest.kostn.		NOVERDI, DRIFT OG VEDLIKEHALD	NOVERDI, ALLE KOSTNADER
	Namn	Knute- pkt.	Eksi- sterande	Øvre intereress. kap.grense	Tot. øvre kap.grense		
	Nr.	S_s min. $10^6 m^3$	S_s max. $10^6 m^3$	10^6 kr	kr/ m^3	kr/ m^3	mill.kr/ $10^6 m^3$
Fiskelausen	052	1,2	1,20	-	-	0,20	0,20
Skjeppsjøen	051	0,8	1,30	0,8	1,60	0,20	1,80
Laupendsjøen	063	0,2	0,2		-	0,20	0,20
Myrsjøen	064	0,1	0,10	-	-	0,20	0,20
Sillongen, Slomma, Kauserudtjern	101	0,40	1,40	6,0	5,0	0,61	5,61
Steffensrud- tjern	111	-	0,70	3,5	5,00	0,61	5,61
Vindflomyra	122	-	0,46	0,5	1,09	0,13	1,22
Lønnsjøen	14	-	0,25	1,5	6,00	0,72	6,72
Bergsjøen	15	-	2,80	0,8	0,29	0,03	0,32
Grønsjøen	16	-	0,35	0,7	2,00	0,26	2,26
Svartungen	17	-	2,0	1,4	0,7	0,08	0,78

Tabell F1. Kostnader for reguleringsmagasin.

HYDROLOGI I VASSDRAGET

1. Generelt

I figur G1 er gitt karakteristiske pentadeverdiar for vassføringa ved Skreia i perioden 1973-1979.

Det er hol i dataserien, og talmaterialet er noko spinkelt i somme periodar. Dei karakteristiske vår- og haustflaumane kjem likevel fram, sameleis den reduserte vassføringa om sommaren. For dei sesongane ein har delt inn i, er middelvassføringa:

Sesong 1 - des., jan., feb.	- 1,67 m ³ /s
Sesong 2 - mar., apr., mai	- 5,75 m ³ /s
Sesong 3 - jun., jul., aug.	- 1,49 m ³ /s
Sesong 4 - sep., okt., nov.	- 3,11 m ³ /s
<hr/>	
Middelvassføring over året	- 3,01 m ³ /s

2. Arealavrenning i LP-modellen

I modellen er arealavrenninga sett proporsjonal med tilsigsarealet for kvar einskild elvestrekning, dvs. til elvestrekningen mellom to knutepunkt drenerer eit areal A_1 med tilhøyrande avrenning Q_1 , såleis:

$$Q_1 = \frac{A_1}{A} \cdot Q$$

der A = arealet oppstrøms målestasjonen ved Skreia

A_1 = tilsigsareal for delfeltet

Q = vassføring ved Skreia

Q_1 = vassføring frå delfeltet

Denne tilførsel, som kjem heile strekninga mellom to knutepunkt, er rekna tilført i det nedre knutepunktet.

I denne reknemåten ligg det ei underestimering av avrenningane, fordi

- a) ein nyttar registrerte vassføringar ved Skreia, og ikkje naturlege avrenningstal utan tekniske inngrep. Når t.d. sommervassføringane er låge ved Skreia, har dette ikkje berre med naturlege tilhøve å gjera, men skuldast også at vatn t.d. vert teke ut frå elva til jordvatning lenger oppe i vassdraget.
- b) Tilførsleane skjer kun i det nedre knutepunktet.

Dessutan er tilbakeføringa av vatn frå jordvatning sett til 0 (jfr. vedlegg C).

3. Hydrologiske føresetnader i modellkøyringane

To ulike alternativ for gjennomsnittsvassføringa ved Skreia er nytta i produksjonskøyringane:

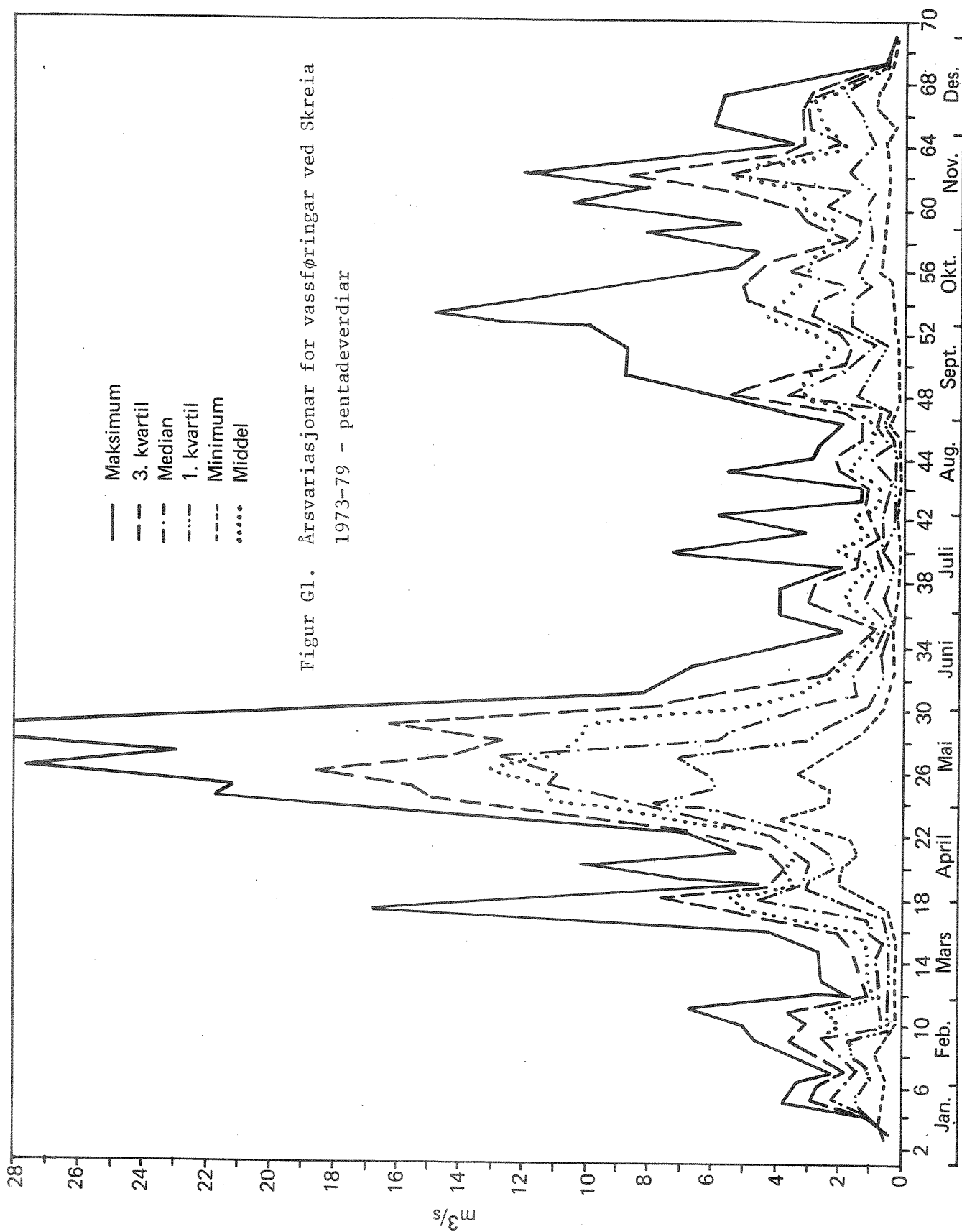
	1973-79 gj.snitt vass- føring ved Skreia	Situasjon A	Situasjon B
Sesong 1	1,67 m ³ /s	2,3 m ³ /s	1,7 m ³ /s
" 2	5,75 "	6,- "	5,8 "
" 3	1,49 "	0,7 "	0,5 "
" 4	3,11 "	2,2 "	3,1 "
Gj.snitt over året	3,0 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s

Situasjon A representerer noko nær den registrerte vassføringa i 1975.

Sommarvassføringa vart ikkje fullstendig registrert i 1975, og verdien på 0,7 m³/s i sommarsesongen er sett på skjøn. Ei så lita naturleg avrenning representerer likevel ein mykje ugunstig situasjon. Sjå figur G2.

Situasjon B representerer mykje nær observerte middelvassføringar ved Skreia, bortsett frå sommarsesongen, der den naturlege avrenninga er sett svært låg. Situasjon B er difor meir ugunstig enn situasjon A. Sjå figur G3.

Elles er det føresettt at alle magasin er på sitt nedre nivå ved starten på sesong 2, dvs. før vårflaumen set inn.



Figur G1. Årsvariasjonar for vassføringar ved Skreia
1973-79 - pentadeverdiar

