



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

780 804



R58:1980

Effekt och energibehov i under- respektive ovanmarksbyggnader

Jämförande studier

**Kjell Windelhed
Torbjörn Winqvist**

Byggforskningsrådet

Slutrapport 780804-0
/36s

ANKOM
23 APR 1979

JÄMFÖRANDE STUDIE AV EFFEKT- OCH ENERGIBEHOVEN
I UNDER- RESPEKTIVE OVANMARKSBYGGNADER

Energihushållning i undermarksanvändning - Samarbets-
projekt med the Underground Space Center, University
of Minnesota - Etapp 1, del 2

Kjell Windelhed
Torbjörn Winqvist

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
78 08 04-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till AB Vattenbyggnadsbyrån

R58:1980

EFFEKT OCH ENERGIBEHOV I UNDER-
RESPEKTIVE OVANMARKSBYGGNADER

Jämförande studier

Kjell Windelhed
Torbjörn Winqvist

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
780804-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till AB Vattenbyggnadsbyrå, Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R58:1980

ISBN 91-540-3250-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 052696

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
	Om projektets tillkomst och syfte	5
	Projektets genomförande	6
2	LITTERATURSTUDIER	7
3	JÄMFÖRANDE INVENTERING AV PRAKTISKA ERFARENHETER	13
	Fryslager	13
	Oljelagring	14
	Avloppsreningsverk	15
	Verkstäder	18
	Kontorsbyggnader	22
4	DISKUSSION AV RESULTATEN	25
5	REKOMMENDATIONER FÖR FRAMTIDA STUDIER	28
6	REFERENSLISTA	29

1. INLEDNING

Genom förläggning av byggnader (bostäder, industrier, lager m m) under markytan kan som regel en lägre energiomsättning vid jämnare effekt åstadkommas än ovan mark.

De egenskaper som framför allt gör berg gynnsamt från energisynpunkt är dess förmåga att magasinera värme och den nästan konstanta naturliga temperaturen redan på några meters djup. En uppvärmd byggnad ovan markytan förlorar värme till den omgivande luften i proportion till skillnaden mellan inner- och yttertemperaturen. Detta leder till förlustflöden med mycket varierande effekt och därmed en mycket varierande energiomsättning under året. Lokaler i berg har däremot ett nästan konstant energibehov helt oberoende av yttertemperaturen.

Värmeledningsförmågan för berg är ca 100 gånger högre än för moderna isoleringsmaterial. Ett lager under mark kan i många fall omges direkt av berg. För att uppnå samma totala värmemotstånd som i en lagerbyggnad med t ex 20 cm isolering (vilket är mycket) krävs ca 20 m bergvägg. En sådan tjocklek är oftast lätt att uppnå. I åtminstone tre riktningar blir bergtjockleken som regel oändlig.

Om projektets tillkomst och syfte

Med anslag 77 10 64-4 från BFR utvecklades kontakter mellan University of Minnesota, genom dess Underground Space Center, och svenska forskare till en överenskommelse om forskningsamarbete. Universitetet har en lång tradition av forskning och utveckling inom undermarksområdet, inte minst vad gäller s k jordtäckt bebyggelse. Man äger dock begränsad erfarenhet av anläggningar i berg, ett område där i stället de skandinaviska länderna har en lång tradition. Som ett led i forskningssamarbetet har BFR gett VBB AB och Hagconsult AB i uppdrag att

- o undersöka administrativa förutsättningar för uppförande av jordtäckt bebyggelse i Sverige
- o framta programunderlag för uppförande av småhusområde med jordtäckt bebyggelse
- o genomföra jämförelser från energisynpunkt mellan lokaler för vissa verksamheter förlagda dels i berg dels ovan mark.

I denna rapport redovisas den sistnämnda delen.

Projektets genomförande

I rapporten redovisas teoretiska studier och praktiska erfarenheter av energiförsörjning i undermarksanläggningar. Effekt- och energibehoven vid undermarksförläggning av lokaler för vissa verksamheter jämförs med behoven i motsvarande lokaler ovan mark.

Tillgängliga teoretiska studier med hjälp av simuleringsprogram för ovan- respektive undermarksanläggningar gäller främst frys- och kylanläggningar.

När det gäller praktiska jämförelser redovisas erfarenheter från fryslager, oljelager, avloppsreningsverk, verkstäder samt kontor/arkiv.

För valet av jämförelseobjekt har vissa grundregler gällt. Objekten skall inrymma likartad verksamhet, skall vara av samma storleksordning och skall ha tillförlitligt dokumenterad energiomsättning. Kravet på likartad verksamhet hos de jämförda objekten har inte varit svårt att uppfylla. För alla objekttyper utom oljelager har det varit möjligt att finna byggnader av samma storleksordning; undermarksanläggningar för oljelagring är generellt betydligt större än motsvarande ovan mark. Däremot har tillförlitlig dokumentation av energianvändning varit svåråtkomlig. Detta har i första hand berott på att registreringen av energiomsättningen i de flesta fall görs mycket summarisk och avser stora enheter. Det må anmärkas att utredarna hos de flesta besökta anläggningsinnehavarna noterat intresse för en mer ingående uppföljning av energiomsättningen.

Verksamma i projektet var från VBBs sida

Civ ing Lars Engström
Civ ing Hans Hydén
Ark Birger Jansson (projektledare)
Civ ing Torbjörn Winqvist (projektsekreterare)

från Hagconsult AB

Civ ing Magnus Bergman
Civ ing Kjell Windelhed

Under projektets gång har kontakter och samråd hållits med Underground Space Center, främst genom Dr Ray Sterling.

Stockholm i september 1979

Kjell Windelhed

Torbjörn Winqvist

2. LITTERATURSTUDIER

M Dørum presenterade vid ITA-konferensen i Tokyo 1978 en jämförelse av energidata mellan kyl- och fryslager i berggrum respektive i konventionella ovanmarkslager. Studien hade genomförts med hjälp av datasimulering och gällde lager med ytan 1 500 m² och volymen 8 000 m³. I fryslagret förutsattes temperaturen -35°C och i kyllagret +2°C. Variationen av effektbehovet under ett år visas i fig 1 och 2. Det framgår klart att effektbehovet vid berglager är oberoende av yttertemperaturen. Det maximala effektbehovet för fryslager i berg är ungefär hälften av det konventionella lagrets behov medan den årliga energiförbrukningen i bergfryslagret är 25 % lägre. För kyllager gäller att berglagrets maximala effektbehov är en fjärdedel av ovanmarkslagrets medan den årliga energiförbrukningen endast är 18 % av det konventionella lagrets. (Se tabell 1.)

För fryslager, -35°C:

	Volym m ³	Energiförbrukn kWh/år	Spec energiförbrukn kWh/m ³ , år
Berggrum	8 000	347 000	43
Ovanmark	8 000	463 000	58

För kyllager, +2°C:

	Volym m ³	Energiförbrukn kWh/år	Spec energiförbrukn kWh/m ³ , år
Berggrum	8 000	12 200	1,5
Ovanmark	8 000	68 200	8,5

Tabell 1 Jämförande data för energiomsättningen (Dørum 1978)

För frys- och kyllager i berg är det normalt inte nödvändigt att hålla någon kompressor i reserv, eftersom temperaturen vid driftavbrott stiger ytterst långsamt. Emellertid, då ett berggrum tas i drift, behöver den omgivande bergmassan kylas ned initialt, till dess fortvarighetstillstånd uppnåtts. Det är lämpligt att under denna tid bruka en installerad effekt dubbelt så stor som vid fortvarighetstillstånd. Denna extra effekt kan utgöras av en temporär installation. Det konventionella lagret kräver däremot en installerad effekt motsvarande 125 % av det maximala behovet för att hinna möta snabba lufttemperaturökningar.

EFFEKTBEHOV FÖR KYLLAGER, TEMPERATUR +2° C

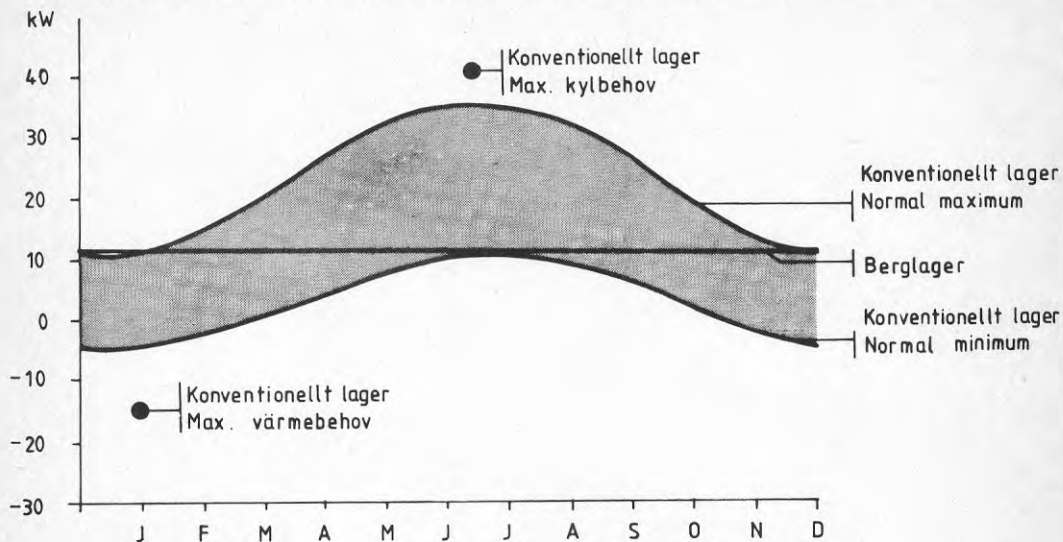


Fig 1 Simulerat effektbehov för kylslager (+2°C). (Dørum 1978)

EFFEKTBEHOV FRYSLAGER, TEMPERATUR -35° C

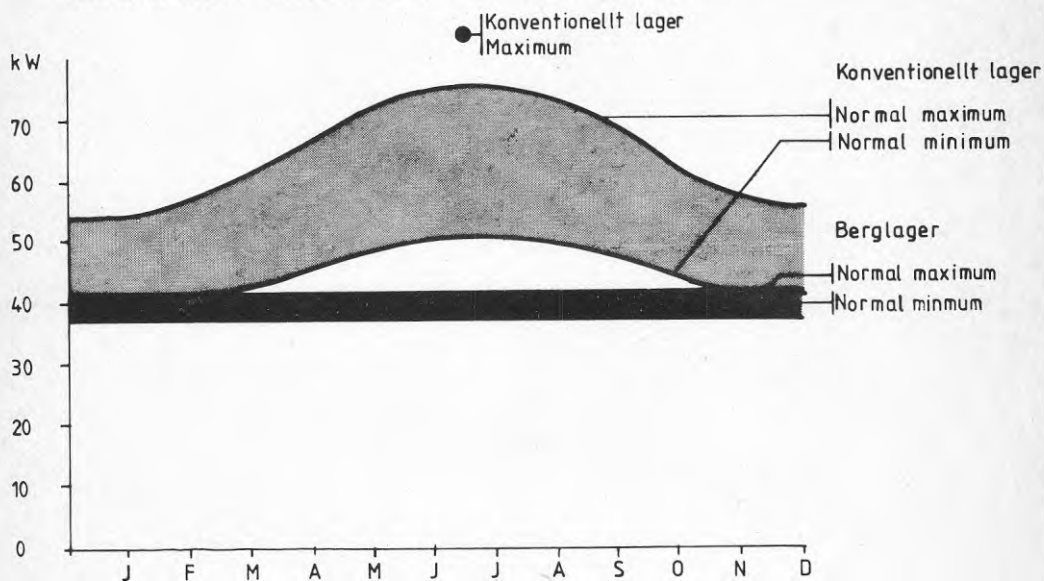


Fig 2 Simulerat effektbehov för fryslager, -35°C. (Dørum 1978)

Förutsättningarna för jämförelsen är klimatförhållandena i Oslo-området. Bergmassans initialtemperatur antas vara $+8^{\circ}\text{C}$ och bergets värmekonduktivitet är $3,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Undermarkslagren antas inrymda i oinklädda berggrum. Ovanmarkslagren antas uppförda i betong och väl isolerade. Under golvisoleringen sker uppvärmning för att hindra tjälbildning. Efter 2,5 års drift beräknas värmefflödet ha stabiliserats vid 10 W/m^2 för fryslagret och $1,1 \text{ W/m}^2$ för kyllagret.

Sammanfattningsvis visar undersökningen att frys- och kyllager i berg kan ge stora energibesparingar jämfört med konventionella ovanmarkslager. Kylaggregaten i berglager arbetar med jämn belastning och kan till och med utnyttjas för andra ändamål några timmar per dygn. Berglager ger dessutom goda möjligheter att omhänderta stora mängder varor på kort tid, exempelvis under skördeperioder. Strömavbrott under flera dygn kan tolereras i berglager medan en sådan störning för ovanmarkslager innebär en katastrof.

T Barbo och P Bollingmo redovisar erfarenheter från fryslager i berg i artikeln "Experience from cold storage plant in rock cavern" (Rockstore 1977). Berglagret är beläget utanför Bergen i Norge och har volymen $11\ 100 \text{ m}^3$. Nedkylningen sköts med två elektriska kompressorer om vardera 53 kW . Temperaturen är -22°C . Tak och väggar utgörs av berget medan golvet är betong.

Efter två års användning är drifttiden 18-20 timmar per dygn vid effekten 45 kW . Dessa 800-900 kWh per dygn beräknas vara ca hälften av vad som skulle förbrukas vid ett lager ovan mark.

Författarna har även gjort en jämförelse av anläggningkostnaden mellan berglager och ett konventionellt lager. Ett fristående ovanmarkslager beräknas vara ca 35 % dyrare än berglagret exklusive mark- och grundläggningskostnader.

För verksamheter som kräver temperaturer på $18-20^{\circ}\text{C}$ redovisas i litteraturen stora variationer på energibesparing genom undermarksförläggning. Förklaringen till detta ligger till stor del i mycket olika krav på inneklimat, exempelvis antal luftväxlingar, punktutsugning, fuktighet m m.

Vid Rockstore 77-symposiet höll N Dørum anförandet "Energy economy in rock stores. A study of heat requirements in airconditioned stores, freestanding and in rock caverns". Studien gäller en jämförelse av energiåtgången för värming, kylning, belysning m m för ett papperslager ovan respektive under mark med stora krav på klimatet och dess konstans: $+18^{\circ}\text{C}$ och relativ luftfuktighet 55 %. Lagerytan är $4\ 000 \text{ m}^2$ och volymen ca $28\ 000 \text{ m}^3$.

Jämförelsens konventionella lagerbyggnad ovan mark är uppförd av prefabricerade betongelement med tak av isolerad korrugerad plåt. Berglagret är uppdelat i två sammanhängande rum i vilka fristående oisolerade byggnader av prefabricerad betong med plasttak uppförts.

Energiförbrukningen anges till följande:

	Uppvärmning inkl kylning		Belysning	
	kWh/m ² , år	kWh/m ³ , år	kWh/m ² , år	kWh/m ³ , år
Berglager	66	9	33	5
Konv lager	160	23	31	4

Som framgår av tabellen är energiförbrukningen för uppvärmning och kylning av berglagret ca 40 % av den för det konventionella lagret. I fråga om belysningen är skillnaden i detta fall obetydlig.

I en total studie av värmeförbrukningen till de två typerna av lager måste emellertid hänsyn tas till bl a den värme som tillförs genom belysning. Om 80 % av energin för belysning och 65 % av energin till fläktar m m antas nyttiggöras som värme får man följande totala bild:

	Total värmeförbrukning	
	kWh/m ² , år	kWh/m ³ , år
Berglager	106	15
Konv lager	199	28

Det totala värmebehovet för berglagret per yt- eller volymenhet är således drygt hälften av det konventionella lagrets.

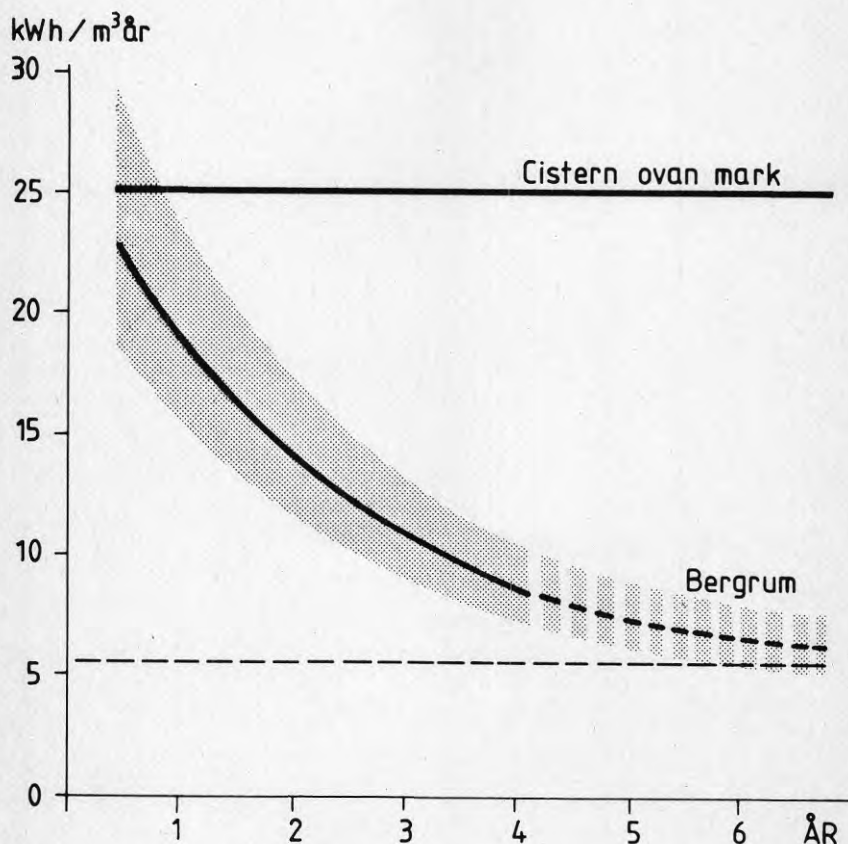
Vad gäller installerad effekt för uppvärmning, belysning och fläktar är denna för berggrummet 33 % av motsvarande för ovanmarksanläggningen. Effektbehovet för det konventionella lagret varierar kraftigt under året. Elektricitet är därför inte ekonomisk som enda energikälla, utan oljevärmeanläggning förutsätts.

I artikeln "Build underground and conserve energy", Engineering Journal, april 1978, anger McBreath och Mitchell en minskning av energiförbrukningen på 20-80 % för undermarksanläggningar jämfört med motsvarande ovan mark. 30-35 % besparing anges av M Bergman i rapporten "The potential for underground industrial, commercial and storage facilities in Minnesota". De stora variationerna kan förklaras av att de diskuterade anläggningarna inrymmer verksamheter av mycket skiftande karaktär och därmed varierande klimatkrav, exempelvis kontor, verkstäder och lager.

För kontorslokaler finns en studie publicerad i *Underground Space*, augusti 1977. I denna redovisar R Thompson resultatet av en simulerad jämförelse mellan ett befintligt tre våningar högt kontorshus ovan mark med motsvarande undermarksanläggning. Simuleringsberäkningarna visade att om kontoret förlagts helt under mark men fortfarande i tre våningar skulle 35 % mindre energi per år ha krävts.

De flesta oljeprodukter kan med fördel lagras i oinklädda berggrum. Tyngre fraktioner stelnar vid normala utomhustemperaturer och måste, för att vara driftmässigt hanterliga, lagras vid relativt höga temperaturer. Lågsvavliga oljor, t ex, måste hållas vid ca $+60^{\circ}\text{C}$.

I Stig Mobergs anförande, "Energiåtgången vid oljelagring i berggrum", vid IVAs konferens "Bygga under mark, spara olja" 1979 redovisades följande diagram för värmebehovet vid tjockoljelagring:



Figur 3 Uppvärmningsbehov vid tjockoljelagring. Lagringstemperatur ca 50°C (Moberg)

Av diagrammet framgår att värmebehovet vid berglagring efter ungefär 6 år når fortfarighets-tillstånd på en nivå som är ca 25 % av behovet vid idrifttagandet. Lagring i cistern ovan mark kräver en jämförelsevis hög men genom åren konstant nivå på uppvärmningen. Däremot varierar givetvis effektbehovet kraftigt under året på grund av varierande lufttemperatur.

3. JÄMFÖRANDE INVENTERING AV PRAKTISKA ERFARENHETER

Jämförelser har gjorts av fryslager, oljelager, avloppsreningsverk, mekaniska verkstäder och kontor. För respektive typ av undermarksanläggning har jämförelser skett med en så likartad ovanmarksanläggning som möjligt.

Uppvärmning, kylning, ventilation och belysning har studerats. Tillförlitliga uppgifter angående energiförbrukningen har inte alltid varit tillgängliga, varför en del antaganden har måst göras. Någon systematisk redovisning av energianvändningen förekommer mycket sällan.

Fryslager

Glacébolaget har mångårig erfarenhet av fryslagring. De producerar och lagrar sina produkter på flera platser i landet. Lagring sker med ett undantag i frysanläggningar ovan mark. Volymen hos dessa anläggningar varierar från några få tusen till 22 000 m³.

Ett bergförlagt glasslager i Årstadal, Stockholm, är i drift sedan 1964. Lagret består av tre parallella bergrum, två för lagring och ett för omlastning och garage. De två lagringsbergrummen, som är nedkylda till -25°C, har en sammanlagd volym på 16 000 m³.

Som jämförelse studeras ett ovanmarkslager på 22 200 m³ i Talja utanför Flen. Lagrets golv är isolerade med 16 cm polystyren, dess väggar med 30 cm glasull och taket med 34 cm kombiplatta cellplast och kork. Lageromsättningen vid de två lagren är likartad.

Den totala elförbrukningen jämförs. I denna ingår kraft till fryskompressorer, ventilation och belysning. Följande data för de två anläggningarna gäller för 1977:

	Lagringsvolym m ³	Energiförbrukn kWh/m ³ , år
Talja (ovan mark)	22 200	96
Årstadal (bergrum)	16 000	79

Energiförbrukningen per volymenhet var således ca 18 % lägre vid lagring i bergrum än i ovanmarkslager. 1977 hade Årstadalslagret varit i drift i 13 år, varför fortvarighetstillstånd kan förutsättas.

Oljelagring

Vid lagring av olja är det framför allt till skydd mot paraffinutfällning viktigt att produkten hålls över sin stelningstemperatur. Normalsvavlig olja kräver en lagringstemperatur på 40-50°C medan lågsvavlig olja, som numera används i ökande omfattning, behöver 60-65°C. Lagring av olja medför därför en viss energiuppföring.

Energibehovet vid lagring i stålci-stern ovan mark har jämförts med behovet i oinklätt bergrum. Jämförelsen för dessa två typer av lager är inte helt rättvisande, eftersom lagringsvolymerna är mycket olika. Stålci-sterner rymmer vanligen högst ca 20 000 - 30 000 m³ medan bergrummens volym kan nå upp till någon miljon m³. Jämförelsen visar dock klart att bergrumslager från energihushållningssynpunkt är gynnsammast. Ovanmark-placerade stålci-sterner är direkt utsatta för växlingar i lufttemperaturen och oftast inte isolerade med mer än 100 mm mineralull.

Liksom för övriga detaljstuderade anläggningar är uppgifter om energiförbrukningen i oljelager ytterst sparsamma, speciellt för ovanmarkslagring.

Energibehoven för två ovan mark placerade stålci-sterner om 20 000 m³ respektive 30 000 m³ har studerats. De står vid AB Sydkrafts kraftvärmeverk Öresundsverket och värms med spillånga från verket. Isoleringen är 100 mm. Bergrumslagring har undersökts dels i en anläggning i Norrköping, Händelö, som består av nio bergrum med en total volym av 1 070 000 m³, dels i en anläggning med fyra bergrum vid Karlshamnsverket på totalt 400 000 m³.

För de två oljecisterna ovan mark redovisas följande energiförbrukning för att hålla oljans temperatur vid +65°C:

Lagringsvolym	Energiförbrukning
30 000 m ³	49 kWh/m ³ , år
20 000 m ³	55 kWh/m ³ , år

Effektbehovet vid lagring ovan mark är givetvis starkt väderleksberoende. Den genomsnittliga årsförbrukningen av energi är däremot konstant och oberoende av hur länge anläggningen varit i drift. Vid lagring i bergrum är effekt- och därmed energibehovet helt oberoende av yttemperaturen och, sedan fortvaringhetstillstånd uppnåtts, konstant. Enligt Mobergs ovan citerade uppgifter kan den initiella uppvärmningen beräknas kräva en period på 6-7 år.

Följande uppvärmningsbehov under de fyra första åren efter driftstart rapporteras från Karlshamnsverkets berglager. (Normalsvavlig olja, ca 45°C.)

År	Uppvärmningsbehov
1	25,4 kWh/m ³ , år
2	15,3 kWh/m ³ , år
3	7,5 kWh/m ³ , år
4	6,0 kWh/m ³ , år

Händelölagret, som innehåller lågsvavlig olja med temperaturkravet 60-65°C, har tagits i drift i etapper. De uppgifter som kan redovisas från detta lager gäller dels fem rum (500 000 m³) som använts i sex år, dels genomsnittet för hela anläggningen. De fyra andra rummen har använts i 2-3 år.

Volym	Energiförbrukn
500 000 m ³ , efter 6 år	9,4 kWh/m ³ , år
1 070 000 m ³ , varav 500 000 m ³ i 6 år och 570 000 m ³ i 2-3 år	13,7 kWh/m ³ , år

Den högre specifika förbrukningen i Händelö jämfört med Karlshamnsverkets lager beror till stor del på den högre lagringstemperaturen, men även andra faktorer som lagrens geometriska utformning, mängden inläckande grundvatten m m inverkar.

Till energibehovet för uppvärmning kommer elförbrukning för pumpar, belysning m m. I Händelö-anläggningarna uppgår denna post till ca 2,5 kWh/m³, år.

Sammanfattningsvis bekräftar studien att uppvärmning av bergförlagda lager kräver väsentligt mindre energi än ovanmarkslager, särskilt sedan temperaturförhållandena i omgivande berg stabiliserats.

Avloppsreningsverk

Energianvändningen i avloppsreningsverk har studerats för Käppala och Himmerfjärdens anläggningar.

Käppala reningsverk

Käppala reningsverk är i huvudsak förlagt i berg-rum. Ovan mark finns endast slambehandlingsanläggning samt laboratorie- och personalutrymmen. Reningsmetoden är aktivt slam och kemisk fällning. Under 1977 var den renade avloppsvattenmängden 50,6 Mm³, vilket motsvarar ett medelflöde av 1,62 m³/s.

I det följande genomgås verkets direkta energianvändning för uppvärmning, ventilation, pumpning, reningsprocess samt belysning. Energikällorna är rötgas och elektricitet. Oljeförbrukningen är sedan ett par år helt försumbar.

För uppvärmning av ventilationsluft, markanläggningar och rötkammare förbrukas 6 000 - 10 000 m³ rötgas per dygn. Detta motsvarar 33 000 - 56 000 kWh/dygn, eller omräknat i olja ca 3,3-5,6 m³. Energibehovet kan också översättas till 0,23-0,40 kWh/m³ renat avloppsvatten. Variationerna i gasförbrukningen följer i huvudsak slammängden i rötkamrarna.

Gasproduktionen vid verket är i medeltal under året större än behovet. Under 1975 brändes därför 950 000 m³ gas, motsvarande 530 m³ olja, i fackla. Någon ekonomisk avsättningsmöjlighet för gasen har ej stått att finna.

Uppvärmning av bergrummen sker uteslutande med ventilationsluften som värmemedium. Den totala ventilationen är ca 150 000 m³/h.

Den sammanlagda förbrukningen av elektrisk energi vid verket uppgår till ca 1 300 MWh/månad, vilket motsvarar en specifik energiförbrukning av ca 0,31 kWh/m³ avloppsvatten. Fördelningen på olika ändamål är i huvudsak följande:

Ventilation och belysning

Ventilationsfläktar med en total effekt på ca 100 kW. Kontinuerlig drift 720 tim/månad	72 000 kWh/månad
Ca 1 100 lysrörsarmaturer à 80 W, i drift ca 12 tim/dygn	<u>32 000 kWh/månad</u>
	104 000 kWh/månad

Pumpning av avloppsvatten

Pumpad avloppsvattenmängd 4,2 Mm ³ /månad. Uppfordringshöjd 22 m. Verkningsgrad ca 0,65	350 000 kWh/månad
--	-------------------

Reningsprocessen

Blåsmaskiner för luftningsbassänger. 5 st à 270 kW. Drifttid 12 tim/dygn	490 000 kWh/månad
Slampumpar i rötkammare. Total effekt 150 kW. Kontinuerlig drift	<u>108 000 kWh/månad</u>
	948 000 kWh/månad

Övrigt

248 000 kWh/månad

1 300 000 kWh/månad

Himmerfjärdens reningsverk

Himmerfjärdens reningsverk är i huvudsak förlagt ovan mark och utan övertäckning. Under mark finns endast rensgaller, pumpgaller samt röt-kammare. Reningsmetoden är aktivt slam och kemisk efterfällning, dvs samma som i Käppala. Under 1978 var den renade avloppsvattenmängden 23,5 Mm³, vilket motsvarar ett medelflöde av 0,75 m³/s.

I det följande genomgås på samma sätt som för Käppalaverket energiförbrukningen för olika ändamål i verket. Energikällorna är rötgas samt elektricitet.

För uppvärmningsändamål förbrukas i genomsnitt under året 3 700 m³ rötgas per dygn. Dygnsförbrukningen varierar under året och är som minst (under sommaren) ca 2 200 m³/dygn. Den specifika energiförbrukningen är i medeltal under året 0,32 kWh/m³ renat avloppsvatten.

Den totala gasproduktionen vid verket är 1 790 000 m³/år, varav 440 000 m³ bränns i fackla. Detta motsvarar 240 m³ olja per år.

Den totala förbrukningen av elektrisk energi vid verket uppgår till ca 900 MWh/månad, vilket motsvarar en specifik energiförbrukning av ca 0,46 kWh/m³ avloppsvatten. Fördelningen på olika ändamål är i huvudsak följande:

Ventilation och belysning

Ventilationsfläktar med en total effekt på ca 89 kW. Drifttid 420 tim/månad	38 000 kWh/månad
Ca 2 190 lysrör och Hg-lampor totalt 117 kW. Drifttid 206 tim/månad	<u>24 000 kWh/månad</u>
	62 000 kWh/månad

Pumpning av avloppsvatten

Pumpad avloppsvattenmängd 2 Mm ³ /månad. Uppföringshöjd 54 m. Verkningsgrad ca 0,8	368 000 kWh/månad
---	-------------------

Reningsprocessen

Blåsmaskiner för luftnings-
bassänger. 2 st à 220 kW,
2 st à 185/125 kW. 300 000 kWh/månad

Slampumpar i rötkammare. Total
effekt 84 kW. Drifttid
16 tim/dygn 40 000 kWh/månad

708 000 kWh/månad

Övrigt 193 000 kWh/månad

901 000 kWh/månad

Om elenergiförbrukningen jämföras med den i Käppala genom reduktion av uppfordringshöjden sjunker den specifika förbrukningen till 0,36 kWh/m³.

De två avloppsreningsverken, Käppala i huvudsak undermarksförlagt och Himmerfjärden i huvudsak övermarksförlagt, företer stora likheter i energi-användning trots de olika byggnadssätten. Energi-flödet i verken synes vara styrt av andra faktorer än över- respektive undermarksförläggningen.

Verkstäder

Bergverkstäder vid två olika industrier har studerats. Jämförbara verkstäder i ovanmarksläge fanns endast vid den ena industrin.

Verkstäderna vid den ena industrin (namn och läge anges ej) är av samma storleksordning i fråga om yta, volym och verksamhet, vilken består av skärande bearbetning, slipning, putsning och montering, är likartad.

Den bergförlagda verkstaden består av ett antal berggrum med betonggolv, 1/2-stens tegelväggar och betongvalvtak. Anläggningen har varit i drift i ca 25 år, varför initialstörningar helt eliminerats.

De båda konventionella verkstäderna ovan mark är byggda 1974-75 och omfattar även en mindre kontorsdel.

Alla objekten hålls vid normalt verkstadsklimat. I bergverkstaden är det, framför allt under sensommaren, svårt att hålla temperaturen nere på komfortnivå, ca 21°C. Verkstaden är försedd med 4 kylkompressorer, som vid behov levererar kallt vatten för cirkulation i ingjutna rör i betongtaket. Ventilationsluften i alla verkstäderna för-

	Bergverkstad		konv. verkstad A		konv. verkstad B	
	kWh/m ²	kWh/m ³	kWh/m ²	kWh/m ³	kWh/m ²	kWh/m ³
Januari	22,3	4,6	105,3	13,9	130,5	15,9
Februari	21,4	4,5	109,6	14,5	134,5	16,3
Mars	23,7	4,9	160,3	21,2	184,1	22,4
April	17,7	3,7	91,0	12,0	122,3	14,9
Maj	23,6	4,9	56,6	7,5	82,4	10,0
Juni	18,8	3,9	17,4	2,3	35,4	4,3
Juli	12,4	2,6	19,3	2,6	28,6	3,5
Augusti	21,3	4,4	36,2	4,8	53,8	6,5
September	22,0	4,6	58,7	7,8	85,7	10,4
Oktober	22,1	4,6	56,5	7,5	83,2	10,1
November	21,9	4,6	99,5	13,2	124,3	15,1
December	21,8	4,6	93,4	12,4	109,8	13,3
Totalt	249,0	51,9	903,8	119,7	1174,6	142,7

Tabell 2 Total tillförd energi för uppvärmning och kylning, redovisad i kWh/m² och kWh/m³. I tabellen har medtagits energiåtgången för uppvärmning och kylning samt 80% av den energi som tillförts för belysning samt 65% av tillförd energi till maskinerna.

värms med elvärmepanna. Energiförbrukningen för var och en av verkstäderna är relativt väl dokumenterad. I tabell 2 redovisas den för varje månad tillförda energin per ytenhet och per volymenhet. Siffrorna omfattar även den värme som tillförs via belysning och maskiner. För belysning har 80 % av den tillförda energin medräknats som värmeproducerande och för maskinerna 65 %.

Verkstädernas totala energiförbrukning per volymenhet framgår även av fig 4, där årsvariationerna tydligt framträder för de konventionella verkstäderna. Den installerade effekten för uppvärmning är mycket större än i bergverkstaden. Variationerna i bergverkstadens energiomsättning beror huvudsakligen på inverkan av långhelger och semestrar.

Medelvärdet av de konventionella verkstädernas energiförbrukningar jämfört med bergverkstadens ger:

	Total tillförd energi för uppvärmning	
	kWh/m ² , år	kWh/m ³ , år
Konv verkstad	1 039,2	131,2
Bergverkstaden	249,0	51,9



Figur 4 Total energiförbrukning vid de jämförda verkstäderna

Detta innebär att den årligen tillförda mängden för bergverkstaden, jämfört med de konventionella verkstäderna, uppgår till 24 % räknat per ytenhet och 39 % räknat på volymenhet.

Energiförbrukningen för belysning är av naturliga skäl högre per ytenhet för bergverkstaden, över året ca 50 %.

En finmekanisk optisk monterings- och provningsanläggning i bergrum hos AGA på Lidingsö har också studerats. Verksamheten ställer mycket höga krav på luftens renhet. Partiklar större än 5 μm får inte förekomma, s k rent rum. Bergrum bedöms av AGA som idealiska för denna typ av verksamhet.

Bergverkstaden, som byggdes redan 1941, har en volym på 11 000 m^3 och en area på 2 100 m^2 . Rummen är inklädda med undertak av plåt, ovanför vilket ventilationsluften transporteras. Konstant klimat eftersträvas med temperaturen $+22^\circ\text{C}$ och relativa luftfuktigheten 50 %. Detta medför kylbehov sommartid, samtidigt som det under sensommaren är svårt att hålla luftfuktigheten nere på önskad nivå. Uppvärmning och kylning sker med hjälp av ventilationsluften. Den installerade eleffekten för uppvärmning är 82 kW och luftmängden ca 18 000 m^3/h . Även belysning, maskiner (ej omfattande) och mätinstrument bidrar till uppvärmningen.

Någon omfattande mätning av energiförbrukningen för bergverkstaden har inte utförts. Under januari-februari 1978 mättes dock energiåtgången för uppvärmning. Då årstidsvariationerna kan bedömas vara relativt små, bör de uppmätta värdena kunna slås ut på ett helt år, vilket skulle ge följande resultat:

<u>Uppvärmning av AGAs bergverkstad</u>	
<u>kWh/m^2, år</u>	<u>kWh/m^3, år</u>
234	45

Energimängden 45 kWh/m^3 , år omfattar endast uppvärmning och således inte värme tillförd från belysning eller maskiner. Storleken stämmer väl med de 52 kWh/m^3 , år som erhöles för den tidigare beskrivna bergverkstaden. Som nämnts ingår värmeproduktionen från belysning och maskiner ej i siffran. Energiförluster genom icke obetydliga mängder bortventilerad luft (punktutsug i arbetsprocessen) har heller ej medtagits.

Kontorsbyggnader

För jämförelse mellan kontorsbyggnader har inte något renodlat undermarksbygge gått att uppbringa. Riksarkivet, som har lokaler både ovan och under mark, har studerats. Tyvärr sker ingen åtskillnad mellan lokalerna vid registreringen av energiförbrukningen.

Riksarkivets byggnad i Marieberg, Stockholm, består av en kontorsdel med 4 våningar ovan mark samt därunder, i berget, en arkivdel med 7 våningar. Kontorsdelen omfattar volymen 23 000 m³ och ytan 6 800 m². För arkivdelen är motsvarande siffror 30 000 m³ och 8 050 m².

Byggnaden är fjärrvärmeansluten. I bergsrumsdelen eftersträvas en temperatur på +18°C och en luftfuktighet på 50 % medan kontorsdelen hålls vid +20°C utan fuktighetskrav. Uppvärmningen sker med förvärmad ventilationsluft, som delvis recirkuleras. Sommartid kyls luften för sänkning av fuktigheten, varefter förvärmning till rätt temperatur sker.

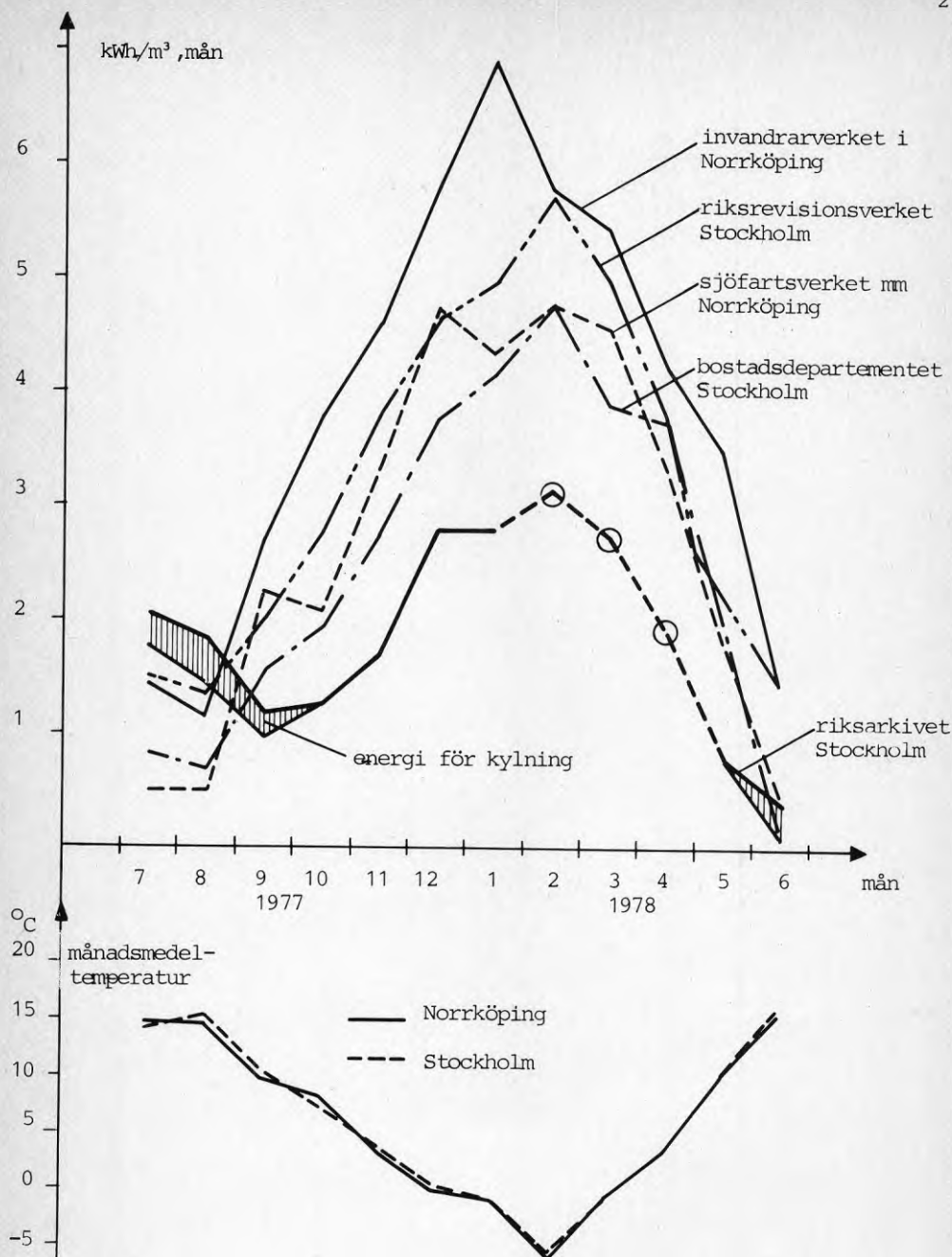
Osäkerhet råder huruvida den redovisade energiåtgången är korrekt - man har haft problem med en mätare.

Riksarkivet har jämförts med fyra kontorsbyggnader ovan mark tillkomna under perioden 1969-1976.

Jämförelserna är svåra på grund av att endast totala mätvärden för hela byggnadskomplex finns framtagna (olja- eller fjärrvärmeförbrukning respektive elförbrukning månadsvis). Husen har sinsemellan olika karaktär (kompakt respektive utspridd planlösning osv). Jämförelseobjekt 1 och 2 är belägna i Stockholm medan 3 och 4 ligger i Norrköping.

Tabellen anger beräknad genomsnittlig förbrukning år 1977/78 för uppvärmning inkl kylning, men exkl övrig elförbrukning. Arkivdelens lägre temperatur (+18°C) har i kalkylen kompensrats till normal kontorstemperatur, +20°C. (Tillägg med 5% per grad för dess andel av byggnadsvolymen.)

	Byggnads- år	Byggnads- volym, m ³	kWh/m ³ , år
Riksarkivet	1970	53 000	23
Jämförelseobjekt 1 (Riksrevisionsverket)	1970	145 000	26
Jämförelseobjekt 2 (Bostadsdepartementet)	1970	73 000	30
Jämförelseobjekt 3 (Invandrarverket mm)	1976	92 000	46
Jämförelseobjekt 4 (Sjöfartsverket mm)	1975	145 000	33



Figur 5. Redovisning av energiförbrukningen för uppvärmning månadsvis, räknat per m³ byggnadsvolym (kWh/m³, månad) för 5 kontorsbyggnader under perioden juli 1977 - juni 1978. Tre med ringar markerade värden för Riksarkivet har uppskattats (se texten).

En mer detaljerad bild ges i figur 5 där energiförbrukningen för uppvärmning anges månad för månad under ett år. I denna figur har riksarkivets lägre temperatur i bergdelen ej kompensrats. Energibehovet för kylningen sommartid markeras särskilt. Månadsvärdena för februari, mars och april har uppskattats då värmemätaren ej fungerade under denna period. Värdena har uppskattats med ledning av antalet grad-dagar under perioden och genom jämförelse med energiförbrukningen under påföljande vinter.

Jämförelseobjekten har sinsemellan ganska varierande energiförbrukning. Objekt 3 speciellt har en från energisynpunkt mindre lämplig uppbyggnad. Riksarkivet är som nämnts endast delvis (57%) förlagt i berg.

4. DISKUSSION AV RESULTATEN

Möjligheterna till en objektiv utvärdering av de studerade anläggningarna begränsas av ett antal omständigheter:

- 1:o Som nämnts är tillgängliga energidata mycket summariska. I de flesta fall redovisas månadens totala el- eller fjärrvärmeförbrukning. Vid eluppvärning/-kylning inbegriper redovisningen oftast även annan elkonsumention. Flera nya fjärrvärmeuppvärmda kontorsbyggnader kunde ej användas som jämförelseobjekt därför att mer än en byggnad redovisades på samma mätare.
- 2:o Man kan ifrågasätta hur pass effektiva de installerade uppvärmnings- och kylanordningarna är. Inte minst gäller detta de studerade berganläggningarna. Denna kommentar gäller såväl uppvärmnings/kylsystemen som möjligheterna att effektivt avpassa driften efter yttre omständigheter t ex ytterluftens temperatur. Utredningsresurserna har inte tillåtit någon närmare analys i detta avseende.

Det är sålunda inte möjligt att dra några långtgående slutsatser med utgångspunkt från denna begränsade studie. Dock står det klart att energiförbrukningen i vissa fall kan påverkas gynnsamt genom undermarksförläggning. Dels kan förbrukningen minska totalt sett, dels kan den fördelas jämnare under året, vilket är värdefullt för dimensioneringen av produktions- och distributionssystemet i en byggnad. Förutsättningar skapas för lågtemperatursystem, vilket i sin tur gör uppvärmning med spillvärme, solvärme eller värmepumpar möjlig.

Man bör också betänka att de diskuterade berganläggningarna har tillkommit av i huvudsak andra motiv än energibesparing och att de ej utformats med särskild tanke på att maximalt utnyttja de energifördelar som kan förenas med bergförläggning.

Fryslager

Studier av två befintliga fryslager i Sverige, ett ovan mark och ett i berg, visar att man genom undermarksförläggningen minskar energiförbrukningen med ungefär en femtedel jämfört med ovanmarkslagret. Denna minskning av energiförbrukningen är mindre än vad som nämns i litteraturen, där siffror på 25-50 % förekommer.

Skillnaden kan förklaras av olika hastighet på lageromsättningen och av olika temperatur. Naturligtvis inverkar också isoleringsgraden hos de ovanjordslager som studerats.

Oljelager

Jämförelser visar att man vid lagring av tjockolja i bergrum kan minska energiförbrukningen med hela 80 % jämfört med lagring i stål-cisterner ovan mark. De stora skillnaderna i storlek mellan de jämförda objekten bör dock påpekas. Lägsta energiomsättning uppnås efter ca sex år, då bergets temperatursförhållanden stabiliserats. Redan första året är förbrukningen emellertid lägre.

I jämförelse med de resultat som S Moberg redovisat stämmer resultaten från den genomförda studien väl överens vad gäller berglager. För cisterner ovan mark redovisar Moberg däremot en energiförbrukning som ligger ca 50 % under fältstudiens.

Reningsverk

I båda de jämförda reningsverken skedde uppvärmning med hjälp av rötgas producerad vid verken. Energiåtgången för uppvärmning var i båda fallen ca 0,3 kWh/m³ avloppsvatten. Rötkammarna, som är de största energislukarna, är förlagda på likartat sätt vid de båda verken, vilket kan förklara likheten i energiåtgång. Vid båda verken bränns 18 700 m³ rötgas per Mm³ avloppsvatten i gasfackla. Någon ekonomisk avsättningsmöjlighet för denna gas har inte varit möjlig att finna.

Förbrukningen av elenergi för belysning och ventilation är i Käppala 0,024 kWh/m³ avloppsvatten och i Himmerfjärden 0,031 kWh/m³. Den ökning av dessa poster som undermarksförläggning kan förväntas ge har inte uppstått.

Den största posten för elförbrukning är pumpning av avloppsvatten, i Käppala med 22 m uppfordringshöjd ca 0,08 kWh/m³ och i Himmerfjärden med 54 m uppfordringshöjd ca 0,19 kWh/m³.

I processen är de största enskilda elförbrukarna blåsmaskinerna för luftningsbassänger och slampumparna i röt-kammarna. Tillsammans uppgår dessa poster till 0,14 kWh/m³ i Käppala och 0,17 kWh/m³ i Himmerfjärden. Genom att processen i undermarksanläggningen drivs under jämna yttre betingelser blir anläggningen lättare att sköta och reningsresultatet jämnare. Förändringarna i energiförbrukning genom att man i undermarksanläggningen kan styra processerna bättre är dock marginella. Detta gäller även den energiförbrukning som ligger i kemikalietillsatserna.

Sammanfattningsvis kan konstateras att skillnaderna i energiförbrukning i övermarks- respektive undermarksförlagda avloppsreningsverk synes vara förvånansvärt små. Skillnaderna styrs väsentligen av andra faktorer än förläggningen.

Verkstäder

Den energibesparing som kunnat noteras vid jämförelser mellan en bergverkstad och motsvarande ovanmarksverkstad uppgår till 76 % räknat per ytenhet och 60 % räknat per volymenhet. En annan studerad bergverkstad vid AGA hade en energiförbrukning som låg mycket nära den först nämnda.

I litteraturen uppges beträffande möjlig energibesparing för verksamheter med rumstemperaturkravet ca +20°C siffror kring ca 50 % vid undermarksförläggning. Siffrorna varierar dock, eftersom verksamheter med olika klimatkrav jämförs.

Belysningsbehovet ökar givetvis vid undermarksförläggning av denna typ av verksamhet. Ökningar på ca 50 % har noterats. Ökningen är dock från energisynpunkt försumbar i jämförelse med minskningen av förbrukningen för uppvärmning. Nästan hela energiinnehållet i belysningselektricitet tillgodogörs för övrigt i form av värme.

Kontorsbyggnader

Jämförelsen av Riksarkivets byggnad med andra kontorshus tyder på att energiförbrukningen genom partiell undermarksförläggning minskar med 20-40% och effektbehovet med åtminstone 30%.

Disparata volymuppbyggnader i de olika jämförelseobjekten gör det svårt att dra några långtgående slutsatser. Osäkerhet råder därtill kring redovisade siffror. Tendensen till minskning av energiåtgången vid undermarksförläggning kan dock anses vara tydlig.

5. REKOMMENDATIONER FÖR FRAMTIDA STUDIER

Förstudien har klart visat att undermarksförläggning av vissa verksamheter kan ge stora energibesparingar, ofta i storleksordningen 50 %, och, lika viktigt, påtagligt sänka behovet av installerad effekt. Resultaten överensstämmer i huvudsak med dem som redovisas i litteraturen. Skiljaktligheter kan stundom förklaras med olikheter i klimatkrav, luftväxlingshastigheter mm, men någon studie, som närmare belyser inverkan av olika faktorer, har ej utförts. Teknikområdet är överhuvudtaget föga studerats. Man bör, som nämnts, observera att hittills uppförda anläggningar motiverats av andra skäl än energibesparing och att de följaktligen ej utförats med någon särskild hänsyn till denna aspekt.

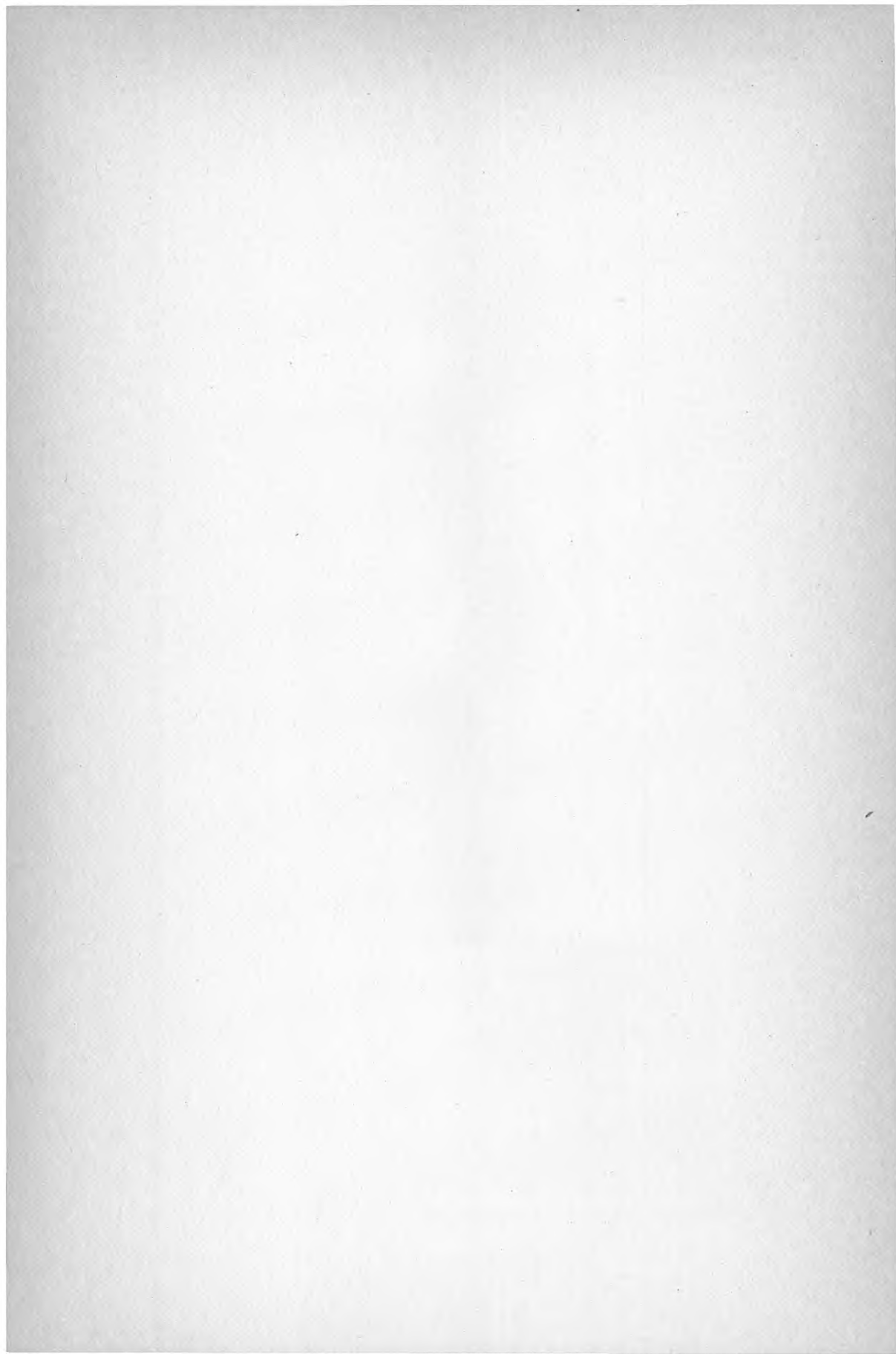
Som nästa etapp, med syftet att tämligen detaljerat kartlägga energiomsättningen vid en anläggning, föreslås att en bergförlagd verkstad studeras. En bergverkstad kan jämföras med andra verksamheter som har krav på inomhusklimat. Ett fryslager synes ej vara lika attraktivt studieobjekt, dels för att utbyggnadsbehovet och möjlig energibesparing (i Sverige) bedöms vara mindre, dels för att dessa är rikligast representerade i litteraturen. Oljelager har bortvalts dels för att utbyggnaden i Sverige redan varit omfattande, om än av andra skäl än energiaspekter, och dels för att Studsvik energiteknik AB avser att genomföra ett forskningsprojekt med besläktat innehåll (Demonstrationsprojekt för soluppvärmning av tjockolja i bergrumslager).

Etappen föreslås bestå av en detaljerad kartläggning av energiomsättningens olika delar, instrumentering och mätning av relevanta data under ett års tid. Resultaten testas mot en datorsimulering av transmissionsförlusterna genom bergmassan. I utvärderingen inkluderas även energiförbrukningen vid byggnadsmaterialtillverkning och byggande så att en fullständig och rättvis bild av berganläggningens energikarakteristika erhålls.

Med den föreslagna etappen kan kunskap om energiomsättningen i en fungerande anläggning dokumenteras och testas mot teoretiska modeller. Sådan kunskap är en förutsättning för framtida bedömningar av hur berganläggningar bör projekteras med hänsyn till energihushållning och för bedömning av deras energi- och effektbehov.

6. REFERENSLISTA

- Barbo, T, Bollingmo, P. Experience from cold storage plant in rock cavern. Rockstore -77 symposiet, Stockholm 1977
- Bergman, M. The potential for underground industrial, commercial and storage facilities in Minnesota, Minneapolis 1979
- Dørum, M. Energy economy in rock stores. A study of heat requirements in airconditioned stores, free-standing and in rock caverns. Rockstore -77 symposiet, Stockholm 1977
- Dørum, M. Jämförelse av energidata mellan kyl- och fryslager i bergrum resp i konventionella ovanmarkslager. ITA-konferensen i Tokyo 1978
- McBreath & Mitchell. Build underground and conserve energy. Engineering Journal, april 1978
- Moberg, S. Energiåtgången vid oljelagring i bergrum, IVA-konferensen Bygga under mark - spara olja, Stockholm 1979
- Thomson, R. Air quality maintenance in underground buildings. Underground Space, augusti 1977.
- Zinko, H. Demonstrationsprojekt för soluppvärmning av tjockolja i bergrumslager - sammanfattningsrapport, Studsvik Energiteknik AB, 1979.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
780804-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till AB Vattenbyggnadsbyrån, Stockholm.**

R58: 1980

ISBN 91-540-3250-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700158

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 15 kr exkl moms