

Rapport

R132:1981

Va-hanteringens energiomsättning

Hans Hydén
Jan Lundgren



Byggforskningsrådet

R132:1981

VA-HANTERINGENS ENERGIOMSÄTTNING

Hans Hydén
Jan Lundgren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790807-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till VBB AB, Stockholm.

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

R132:1981

ISBN 91-540-3602-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	4	
1	INLEDNING	
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte och uppläggning	7
2	ÖVERSIKT ÖVER VA-HANTERINGENS ENERGIOM- SÄTTNING	
2.1	Allmänt	9
2.2	Storleksordningar hos viktigare ingåen- de energiposter	9
2.3	Omsättning av lägesenergi	12
2.4	Omsättning av kemisk energi och annan energi i reningsprocesser	13
2.5	Omsättning av värmeenergi	14
2.6	Åtgärder som påverkar energiomsättning- en	14
3	DATAINSAMLING	
3.1	Översiktliga driftdata för åtta va-sys- tem	16
3.2	Fältundersökningar i Kumla	24
4	VA-HANTERINGENS LÄGEENERGIOMSÄTTNING	
4.1	Allmänna förutsättningar	33
4.2	Möjliga sätt att påverka lägesenergiom- sättningen och deras konsekvenser	33
4.3	Omsättning av lägesenergi i Kumla	34
4.4	Slutsatser	36
5	OMSÄTTNING AV BIOKEMISK ENERGI	
5.1	Allmänna förutsättningar	37
5.2	Möjliga sätt att påverka omsättningen av biokemisk energi	42
5.3	Tillämpning i Kumla	45
5.4	Slutsatser	46
6	VA-HANTERINGENS VÄRMEENERGIOMSÄTTNING	
6.1	Allmänna förutsättningar	47
6.2	Teoretisk analys	47
6.3	Möjliga sätt att påverka värmeenergiom- sättningen och deras konsekvenser	63
6.4	Tillämpning i Kumla	67
6.5	Slutsatser	71
7	REKOMMENDATIONER	
7.1	Energihushållning i va-hanteringen	72
7.2	Energiutvinning ur va-systemet	72
LITTERATUR	73	
BILAGA 1 Sorter och begrepp	75	

Projektets bakgrund och syfte

Den totala energiförbrukningen för va-hantering som helhet kan uppskattas till ca 50 MJ/m³ (14 kWh/m³) konsumerat vatten. Denna energiförbrukning fördelar sig med ca 10 % för transport och behandling av vattnet och ca 90 % för uppvärmning av varmvatten hos konsumenterna. Totalt uppgår energiåtgången inom denna sektor till ca 50.10⁹ MJ/år (14 TWh/år), vilket kan ställas i relation till den totala energiåtgången i Sverige, ca 1400.10⁹ MJ/år (400 TWh/år). Va-hanteringens andel är således ca 4 %.

För att öka kunskapen om olika åtgärders inverkan på energiomsättningen studeras för närvarande energiomsättningen i samhället från flera olika utgångspunkter. Som en del i denna satsning beviljades VBB i december 1979 ett forskningsanslag från BFR för en studie beträffande va-hanteringens energiomsättning.

Syftet med projektet har varit att få en totalsyn på energiomsättningen i samhällets va-hantering och att med denna som underlag kunna identifiera de delsteg av va-hantering där potentiella möjligheter finns antingen att reducera tillförseln av energi alternativt att återvinna energi. Konsekvenserna för va-hantering av en eventuell utvinning av energi ur olika steg av va-hantering har belysts.

Teoretiska grundkunskaper om energiomsättningen i olika steg av va-hantering finns i stor utsträckning framtaget sedan tidigare. I föreliggande studie har endast vissa kompletteringar gjorts i detta avseende medan huvudvikten i projektet lagts på att analysera systemet som helhet med ett konkret exempel som grund.

Insamling av mätdata

För att få en referensram för arbetet har inledningsvis insamlats översiktliga driftdata för åtta va-anläggningar avseende temperaturer och energiflöden. Ett stort arbete har sedan nedlagts på att i detalj och relativt förutsättningslöst kartlägga energiflödet i ett va-system, Kumla tätort.

Framtaget datamaterial har använts för att söka verifiera uppställda hypoteser och för att i ett praktiskt sammanhang söka applicera de vid systemanalysen framkomna resultaten.

Omsättning av lägesenergi i va-systemet

Omsättningen av lägesenergi i ett va-system är primärt beroende av de topografiska förhållandena, dvs nivåskillnaderna mellan vattentäkt, vattendistributionsanläggning, konsument, avloppsnät och recipient. Lägesenergin

kan ökas genom pumpning, vilket normalt innebär en insats av elektrisk energi. Lägesenergin minskas genom friktionsförluster i ledningar, strypning i ventiler etc och omsätts härvid till värmeenergi.

Omsättningen av lägesenergi i ett befintligt va-system påverkas av i vilken omfattning vatten pumpas i onödan. Exempel på sådan onödig pumpning är råvattenpumpning till en infiltrationsanläggning där alltför mycket vatten förloras, renvattenpumpning till ett läckande distributionsnät samt pumpning av avloppsvatten i ett spillvattennät med stor andel dag- och dräneringsvatten.

Lägesenergiomsättningen i ett va-system är liten jämfört med andra i sammanhanget förekommande energimängder. De största vinsterna kan göras genom tätning av det befintliga ledningsnätet. Sådana åtgärder är kostsamma och kan vanligen ej motiveras ur energihushållningssynpunkt.

Omsättning av biokemisk energi

Biokemisk energi tillförs va-systemet i form av kemikalier i samband med behandling av råvatten och avloppsvatten samt i form av föroreningar vid användning av renvatten för konsumtion.

Energiinnehållet i reningskemikalier är av samma storleksordning som lägesenergiomsättningen. Några betydande energivinster i befintliga system med bibehållen reningsgrad är ej möjliga att göra inom detta område.

Emellertid innehåller avloppsvattnets föroreningar en betydande energimängd, i storleksordningen 5-10 ggr den energimängd som är bunden i reningskemikalierna (beroende bl a på beräkningssätt). Huvuddelen av energiinnehållet i obehandlat avloppsvatten återfinns efter behandlingen i det avskilda slammet. De idag praktiskt tillämpade metoder för återvinning av denna energi som finns är främst rötning av slammet respektive gödsling med det stabiliserade slammet.

Avloppsvattenbevattning av jordbruk och energiskog är en framkomlig väg att utnyttja energiinnehållet i avloppsvatten samtidigt som energibesparingar kan göras genom minskade reningskrav.

Omsättning av värmeenergi

Den dominerande energiformen inom va-hanteringen är värme av låg temperatur. Potentiella möjligheter till besparing/återvinning av denna värme finns inom flera delar av va-systemet.

En betydande del av värmeenergin i renvatten och avloppsvatten går förlorad genom värmeutbyte mellan ledningsnät

och omgivande mark. Tillgängliga värmeöverskott bör därför utnyttjas så nära källan som möjligt.

Rekommendationer

Allmänt kan sägas att inom den kommunala va-hanteringens galler, liksom inom andra områden, att ändamålsenlig skötsel, drift och underhåll av anläggningarna också innebär god energihushållning. Det är således bl a angeläget att energikrävande utrustning såsom pumpar, kompressorer och fläktar kontrolleras så att god verkningsgrad och optimala driftförhållanden upprätthålles.

Anaerob slamstabilisering med rötgasproduktion kan vara gynnsam ur energisynpunkt, medan aerob stabilisering är klart ogynnsam. Ett införande av anaerob stabilisering är därför ur energisynpunkt angeläget där så är tekniskt möjligt. Även möjligheter till anaerob avloppsvattenbehandling bör beaktas.

Möjligheter finns att utan negativa konsekvenser för va-hanteringens ta ut energi ur va-systemet i större utsträckning än vad som sker idag. Möjligheterna är totalt sett så stora att de kan få en viss betydelse för den svenska energiförsörjningen och det är därför angeläget att praktiska erfarenheter av fullskaleanläggningar erhålls. De lösningar som står till buds och som bör prövas är följande.

Vattentäcker som är baserade på grundvatten eller konstgjord infiltration utgör naturliga säsongslager för värme. Uttag av värme med hjälp av värmepump vid vattenverket eller på huvudledningar nära vattenverket bör prövas i full skala.

Den stora energimängd som tillförs vid varmvattenberedning går till stor del snabbt förlorad i avloppsledningarna. Teknik för återvinning av denna värmeenergi bör utvecklas eftersom de negativa effekterna för senare led i va-hanteringens i de flesta fall är försumbara.

Utvinning av värme ur avloppsvatten vid reningsverk är en etablerad teknik som bör kunna få ytterligare spridning.

Bevattning med avloppsvatten av jordbruk eller energiskog innebär betydande potentiella energihushållningsmöjligheter för stora delar av landet. Energivinsterna uppstår dels genom minskat reningsbehov och dels genom utnyttjande av avloppsvattnets kemiska energiinnehåll. Pilotanläggningar bör anläggas så att allsidig erfarenhet av praktisk drift erhålls.

VA-HANTERINGENS VÄRMEENERGIOMSÄTTNING

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Det råder idag stor enighet beträffande vikten av att hushålla med energi. Regeringen har bland annat beslutat att en strävan skall vara att minska energiförbrukningen i befintlig bebyggelse med ca 25 % inom en 10-årsperiod.

Den totala energiförbrukningen för va-hanteringen som helhet kan uppskattas till ca 50 MJ/m³ konsumerat vatten. Denna energiförbrukning fördelar sig med ca 10 % för transport och behandling av vattnet och ca 90 % för uppvärmning av varmvatten hos konsumenterna. Totalt uppgår energiåtgången inom denna sektor till ca 50.10⁹ MJ/år, vilket kan ställas i relation till den totala energiåtgången i Sverige, ca 1400.10⁹ MJ/år.

Även om således va-hanteringens andel av den totala energiförbrukningen är relativt begränsad idag, kan den förväntas få ökad betydelse i framtiden. Om vi exempelvis, genom förbättrad teknik och bättre isolering av byggnader, kan fortsätta att minska energiåtgången för uppvärmning av bostäder så kommer varmvattnets relativa betydelse ur energisynpunkt att öka. För närvarande åtgår ca 20 % av den totala energiförbrukningen i en bostad för uppvärmning av varmvatten. I takt med förbättrad isolering etc kan denna andel komma att öka till uppemot det dubbla i nybebyggelse.

För att öka kunskapen om olika åtgärders inverkan på energiomsättningen studeras för närvarande energiomsättningen i samhället från flera olika utgångspunkter. Som en del i denna satsning beviljades VBB i december 1979 ett forskningsanslag från BFR för en studie beträffande VA-hanteringens energiomsättning. Denna studie redovisas i föreliggande rapport.

1.2 Syfte och upplägning

Syftet med projektet har varit att få en totalsyn på energiomsättningen i samhällets va-hantering och att med denna som underlag kunna identifiera de delsteg av va-hanteringen där potentiella möjligheter finns antingen att reducera tillförseln av energi alternativt att återvinna energi. Konsekvenserna för va-hanteringen i stort såväl ur miljö- som ur driftsynpunkt av en eventuell utvinning av energi ur olika steg av va-hanteringen har belysts.

Avsikten har vidare varit att utarbeta en enkel modell av energiomsättningen. Modellens riktighet verifieras med hjälp av tillgängliga data kompletterade med data från vissa fältundersökningar. Fältundersökningarna har genomförts i Kumla kommun.

Grundläggande kunskaper finns om energiomsättningen inom de flesta delområden av va-hanteringen. Emellertid fordras inom flera områden komplettering av kunskaperna. Vidare har i många fall saknats kännedom om områdenas inbördes beroende och olika faktorerers påverkan över områdesgränserna. Projektarbetet har koncentrerats på de områden som bedöms vara betydelsefulla ur energihushållningssynpunkt och där kunskaperna hittills varit otillräckliga.

Studien har gjorts med omfattningsgrad 2 enligt IVAs nomenklatur, se IVA (1977). Det betyder att förutom den direkt tillförda energin i form av elenergi och bränsle även energiinnehållet i kemikalier m m beaktas. Däremot tas ej hänsyn till energiinnehåll i anläggningar och maskiner.

I rapporten används i huvudsak rekommenderade SI-enheter, till exempel för energimängd J (kJ, MJ etc). I vissa fall används emellertid andra enheter. Detta gäller bl a värmeöverföringsberäkningar, kapitel 6.2, där av tradition andra enheter t ex W/m, använts. Vissa i studien använda begrepp och sorter förklaras i Bilaga 1.

För projektets genomförande har förutom författarna svarat Professor Lars-Eric Janson och Civilingenjör Sören Eriksson. Fältarbetet i Kumla har utförts av Mats Pehrson och Åke Petterson vid VBBS kontor i Örebro.

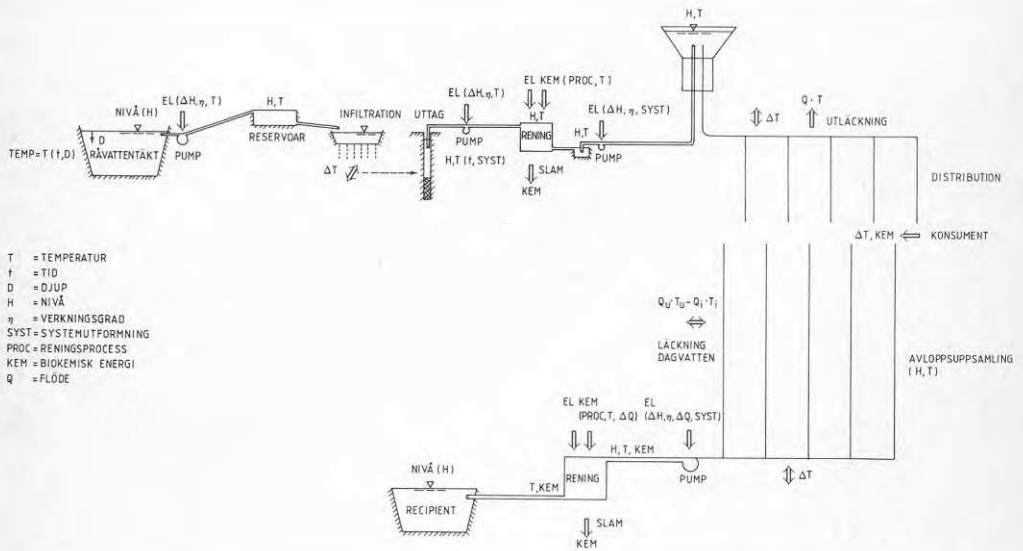
2 ÖVERSIKT ÖVER VA-HANTERINGENS ENERGIOMSÄTTNING

2.1 Allmänt

En schematisk översikt av va-hanteringens energiomsättning visas i Figur 2.1. Energiinnehållet karakteriseras grovt av ett antal tillståndsvariabler, som beskriver lägesenergi, H, värmeenergi, T, och kemiskt bunden energi, KEM. Från ursprungstillståndet som karakteriseras av råvattentäktens temperatur och höjdläge och till sluttillståndet representerat av temperatur, höjdläge och kemiskt bunden energi hos utgående vatten från avloppsreningsverket tillförs elektrisk energi för pumpning och i reningsprocesser, kemisk energi i reningsprocesser och vid användning av vatten samt värme-energi genom el, olja eller rötgas vid konsumtion och rening. De olika tillståndsvariablerna är ur praktisk synpunkt i det närmaste oberoende av varandra och kan för enkelhets skull till en början behandlas var för sig.

2.2 Storleksordningar hos viktigare ingående energiposter

För att få en preliminär uppfattning om den relativa betydelsen av olika poster i energiomsättningen hos ett va-system i driftskedet görs inledningsvis en uppskattning av deras respektive storleksordning, se Tabell 2.1. De angivna värdena baserar sig på litteraturuppgifter och enkla beräkningar. Det bör betonas att samtliga värden i tabellen är approximativa och att avsevärda avvikelser kan förekomma i enskilda fall. En mer ingående diskussion om de olika delposterna förs i avsnitten 4, 5 och 6.



Figur 2.1 Översikt över va-hanteringens energi-omsättning

	MJ/m ³ råvatten (alt renvatten eller avlopps- vatten)			
	Läges- energi	Kem- energi	Värme- energi	Övrigt (el- energi)
1. Råvatten				
Med värmepump teoretiskt utnyttjningsbart värmeinnehåll vid ca 8°C temperatursänkning	-	-	~35	-
2. Renvattenpumpning				
Vid en total uppfordningshöjd i hela va-systemet 100 m med verkningsgraden 0,7. (Vanligtvis tillförsel av el)	~1,5	-	-	-
Vattenrening				
Tillsatser enligt litteraturuppgifter	-	0,1-0,5	-	-
Elförbrukning	-	-	-	~0,4
Konsumtion				
Uppvärmning av varmvatten	-	-	30-45	-
Tillförsel av organiska ämnen med teoretiskt energiinnehåll vid förbränning	-	2-5	-	-
Tillförsel av närsalter som kan utnyttjas för bildande av organiska ämnen	-	10-15*	-	-
Avloppsrening				
Direkt tillförsel av el	-	-	-	~0,7
Tillförsel av värme (el, olja, rötgas)	-	-	~2	-
Tillförsel av kemikalier	-	~0,4	-	-
3. Avloppsutsläpp				
Med värmepump teoretiskt utnyttjningsbart värmeinnehåll vid ca 10°C temperatursänkning	-	-	~45	-
Beh avloppsvatten, org material	-	0,1-0,2	-	-
-"- , närsalter	-	0,7-1,5	-	-
Stabiliserat slam, org material	-	1,2-2,3	-	-
-"- , närsalter	-	13,5	-	-

* Alternativt kan energiåtgången vid konstgödselproduktion användas för beräkningen. Därvid erhålls ca 2-4 MJ/m³ (se även kapitel 5.1)

Tabell 2.1. Ungefärlig energiomsättning i va-hanteringens delsteg, MJ/m³ (1 MJ = 0,278 kWh = 238 kcal).

Värdena i Tabell 2.1 är angivna som MJ/m³ vatten. Det bör påpekas att den specifika vattenmängden, räknat till exempel per ansluten person, kan variera avsevärt i systemet av olika skäl. Ofta medför exempelvis inläckage i avloppsnätet att avloppsvattenmängden per person är betydligt större än renvattenmängden per person. Så är till exempel förhållandet mellan råvattenmängd, renvattenmängd och avloppsvattenmängd i Kumla ca 4/1/1,9 på årsbasis (se även avsnitt 3.2).

Tabell 2.1 baseras på ett systematiskt synsätt med va-systemet indelat så att under pkt 1 redovisas energiinnehållet i utgångsläget (input till systemet), under punkt 2 tillförsel av energi till systemet och under punkt 3 energiinnehållet vid systemets slutläge (utput ur systemet). Rent teoretiskt skulle därför

$$\text{nivån i punkt 3} = \text{nivån i punkt 1} + \text{tillskott i punkt 2}$$

Av olika skäl är detta emellertid ej fallet. Den lägesenergi som tillförs i pumpningen omsätts i värme utmed systemet. Den kemiska energin i avloppsvattnet minskar vid avloppsvattenreningen till följd av nedbrytning och mineralisering av organiskt material i det biologiska reningssteget och i slamstabiliseringen. Värmeenerginivån förändras på grund av värmeutbyte med ledningar och mark. Energinivån kan höjas såväl som sänkas beroende på vattnets temperatur i förhållande till marktemperaturen.

De angivna värdena är erhållna från litteraturstudier eller teoretiska beräkningar. I praktiken är ofta endast en del av den teoretiska energin utnyttjningsbar eller tillgänglig för besparingar. Detta kan till exempel bero på att energin ej föreligger kontinuerligt eller att den finns i för små koncentrationer. I andra fall kan teknik (kunskap, metoder, utrustning etc) saknas för utvinning av energi.

Av Tabell 2.1 framgår emellertid tydligt, att det största utbytet kan erhållas av åtgärder för att minska tillförseln av värmeenergi alternativt öka återvinningen av värmeenergi. I andra hand bör energiinnehållet i de föroreningar som konsumenten tillför vattnet utnyttjas.

En minskning av vattenförbrukningen påverkar i viss utsträckning energiomsättningen, såväl för pumpning som för behandling av råvatten och avloppsvatten. En minskning av varmvattenförbrukningen påverkar tillförseln av värmeenergi. Däremot påverkas ej innehållet av kemisk energi i organiskt material och närsalter. Mängden utvinnbar värme i råvatten och behandlat avloppsvatten är direkt proportionell mot vattenmängden.

2.3 Omsättning av lägesenergi

Omsättningen av lägesenergi beror på lokala förutsättningar och va-systemets utformning. Möjligheterna att påverka omsättningen är begränsade. En möjlighet är indelning i tryckzoner. Möjligheter till besparingar är dessutom att upprätthålla hög verkningsgrad hos pumpar och att förhindra läckage och därmed onödig pumpning i ledningssystemet. Den tillförda lägesener-

gin omsätts i princip till värme men mängden är liten totalt sett jämfört med andra värmeposter, jämför Tabell 2.1 Lokalt kan emellertid besparingar, till exempel i pumpningen, vara av stor betydelse. I vissa fall kan förlusterna även ha betydelse för förhindrande av frysning i ledningssystemet.

Av betydelse i sammanhanget är även att eventuella besparingar erhålls som minskad elförbrukning, vilken således kan utnyttjas på helt andra platser än den där besparingen görs.

2.4 Omsättning av kemisk energi och annan energi i reningsprocesser

Kemisk energi tillförs i reningsprocesser för renvatten och avloppsvatten samt vid användning av renvatten. Den kemiskt bundna energin tas i huvudsak ut ur systemet via slammet i reningsprocesserna.

Kemikalietillförseln bestäms av valda reningsprocesser. Detta val bestäms normalt ej primärt av energisynpunkter. Sedan reningsprocessen valts kan kemikalietillsatsen påverkas av styrningen av reningsprocesserna, styrning av råvattenuttag med hänsyn till fysikalisk-kemiska egenskaper (inkl temperatur) och av temperaturförändringar i ledningssystemen.

Energitillförseln via kemikalier vid avloppsvattenreningen är i samma storleksordning som vid behandling av renvatten. En eventuell framtida skärpning av reningskraven vid avloppsvattenbehandling kan öka behovet av kemikalietillsatser.

Energiinnehållet i de kemikalier som används vid behandling av såväl renvatten som avloppsvatten är totalt sett förhållandevis litet. Den energi som utnyttjas för tillverkning och transport av kemikalier är emellertid av hög kvalitet, exempelvis elenergi respektive oljeprodukter, varför besparingar ändå är betydelsefulla.

Merparten av den kemiska energi som tillförs vattnet hos konsumenten koncentreras i slammet vid avloppsreningsverket. En mindre del av energin följer med det behandlade vattnet ut i recipienten. Den teknik som idag tillämpas för återvinning av den kemiska energin är rötning och metangasutvinning. Vid detta förfarande kan emellertid endast en del av energin återvinnas. Utveckling av nya metoder och processer kan därför få stor betydelse i framtiden. Så kan till exempel i framtiden en anpassning av reningsgraden med hänsyn till recipientens egenskaper få stor betydelse. Ett utnyttjande av ett tvåstegsrenat avloppsvatten för bevattning skulle kunna ge avsevärda energivinster genom minskad energiförbrukning i reningsprocessen och utnyttjande av den kemiskt bundna energin som växtnäring.

2.5 Omsättning av värmeenergi

Den dominerande energiformen i va-hanteringens är värme av låg temperatur. Den vanligaste tekniken för värmeåtervinning är med hjälp av värmepump. Generellt gäller att värmeenergin har en lägre kvalitet än elenergi.

Råvattnet innehåller naturligt en stor värmemängd. Råvattnets temperatur kan ofta påverkas vid såväl ytvattentäkter (exempelvis varierande intagsnivåer) som vid grundvattentäkter (lämpligt val av borrhål och uttagsnivåer). Om möjlighet finns att utnyttja utvunnen värme på platsen höjs värdet av energin. Eventuell påverkan på såväl vattenreningsprocessen som senare i va-systemet måste dock beaktas.

Eventuellt uttag av värme utmed ledningsnätet, såväl vatten- som avloppsledningsnät, avgörs bland annat av möjligheterna att få avsättning för utvunnen värme. Lämpliga uttagpunkter bestäms även i stor utsträckning av värmeutbytet mellan ledningssystem och omgivande mark.

Totalt tillförs i Sverige 35-50.10⁹ MJ/år vid varmvattenberedning. En stor del av denna värmemängd överförs till avloppsvattnet och leds ut i recipienterna. Möjligheterna till utnyttjande av värme i avloppsvattnet bestäms bland annat av följande faktorer:

- avloppsvattnets mängd och flödesvariationer
- avloppsvattnets kvalitet (temperatur och föroreningar)
- tillgång till avnämare
- påverkan på reningsprocessen av sänkt temperatur hos avloppsvattnet

F n anses förutsättningarna för återvinning vara gynnsammast vid avloppsreningsverket. I vissa fall bör det dock kunna vara förmånligare att återvinna värme utmed ledningsnätet.

2.6 Åtgärder som påverkar energiomsättningen

Som framgått av den översiktliga genomgången undergår vattnet i ett va-system under passagen genom systemet ständigt förändringar vad avser energiinnehåll samt behov av energitillskott. Förändringarnas storlek är vid ett visst flöde beroende av utformningen av va-systemet och dess delar samt på driften av systemet. Utöver de förändringar av energiinnehåll som den normala va-hanteringens innebär kan speciella tillskott eller uttag av energi göras i olika punkter på systemet. De faktorer som påverkar energibehov

och energiomsättning kan således hänföras till någon av följande rubriker:

- a) systemutformning
- b) komponentutformning
- c) drift av systemet
- d) övriga tillskott eller uttag av energi
- e) mediets egenskaper

3 DATAINSAMLING

3.1 Översiktliga driftdata för åtta va-system

3.1.1 Bakgrund

Värmeenergiflödets storlek och variation i olika delar av ett va-system kan antas variera med t ex typ av vattentäkt, geologiska förhållanden och klimatbetingelser. För att få en viss uppfattning om skillnaderna mellan olika orter har uppgifter om temperaturmätningar och värmeenergiflöden från åtta va-anläggningar insamlats och bearbetats.

Av anläggningarna har tre stycken ytvattentäkter (Norrköping, Arboga och Gällivare), en har naturligt grundvatten (Söderhamn) och fyra har anläggningar för konstgjord infiltration av grundvatten (Hässleholm, Kristinehamn, Kumla och Örebro).

I första hand har uppgifter om flöden och temperaturer vid vattenverk och avloppsverk för år 1979 sammanställts. I vissa fall föreligger även uppgifter om temperaturer i vattenledningsnätet men dessa är sporadiska och någon systematisk bearbetning har ej varit möjlig att göra. Detta beror också på att det ej går att avgöra i vad mån dessa temperaturmätningar är representativa för det vatten som konsumenten normalt får ur sina tappställen. Ett betydande värmeutbyte sker nämligen mellan servisledningarna och omgivande mark.

3.1.2 Ytvattenverk

Temperatur- och energidata för de tre studerade anläggningarna med ytvattenverk framgår av Tabell 3.1

	Norrköping	Arboga	Gällivare *
<u>Vattenverk</u>			
Renvattenprod, $m^3/mån \cdot 10^3$	1 040	140	111
Renvattentemp, °C	4,5-23,8	1,0-17,0	0,5-13,0
Energiflöde $kJ/mån \cdot 10^9$	20-104	0,5-9,7	0,2-6,0
Do, medel, $kJ/mån \cdot 10^9$	63	4,4	2,4
Do, specifik, $kJ/m^3 \cdot 10^3$	61	31	22
<u>Avloppsverk</u>			
Avloppsmängd, $m^3/mån \cdot 10^3$	1 186	280	323
Avloppsv temp °C	10,0-21,9	5,0-16,8	5,0-14,5
Energiflöde, $kJ/mån \cdot 10^6$	41-123	1,7,24,0	8,1-18,0
Do, medel, $kJ/mån \cdot 10^6$	72	11,6	10,6
Do, specifik, $kJ/m^3 \cdot 10^3$	61	41	33

*Data för tiden juli 1969 - juni 1970

Tabell 3.1 Data för studerade ytvattenverk

En sammanställning av data i diagramform för de tre anläggningarna visas i Figur 3.1-3.3. Energiflödet har ett maximum under sensommaren i såväl vatten- som avloppsverket i alla tre fallen. Förhållandet mellan energiflödena i vatten- resp avloppsverk är beroende av flödet. I Norrköping är således vatten- resp energiflödena ungefär lika stora i de två verken medan det i Gällivare föreligger en avsevärd skillnad pga den stora extra vattenmängden i reningsverket.

3.1.3 Grundvattenverk

Renvatten levereras i Söderhamn från två grundvattenverk, Kinstaby och Ålsjön. Temperatur- och energidata för va-systemet i Söderhamn framgår av Tabell 3.2

Söderhamn

Vattenverk

Renvattenprod, $m^3/mån.10^3$	174
Renvattentemp °C	6-9
Energiflöde, $kJ/mån.10^9$	4,9-6,1
Do, medel, $kJ/mån.10^9$	5,5
Do, specifik, $kJ/m^3.10^3$	31

Avloppsverk

Avloppsv, mängd, $m^3/mån$	340
Avloppsv, temp °C	2,1-18,5
Energiflöde, $kJ/mån.10^9$	2,3-26,3
Do, medel, $kJ/mån.10^9$	16,6
Do, specifik, $kJ/m^3.10^3$	49

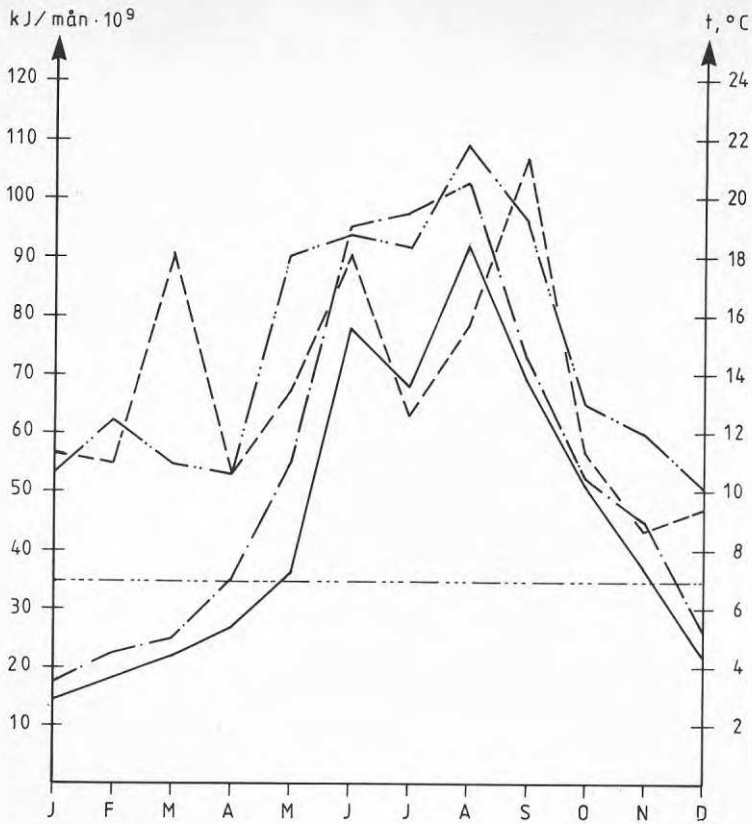
Tabell 3.2 Data för studerat grundvattenverk

En sammanställning av data i diagramform för va-anläggningen i Söderhamn visas i Figur 3.4. Det ökade energiflödet i avloppsverket jämfört med vattenverken beror dels på ett ökat vattenflöde och dels en starkt förhöjd temperatur sommartid (trots att renvattnet ej blir varmare).

Temperaturen på vattenledningsnätet ligger vintertid något under och sommartid något över temperaturen vid vattenverket.

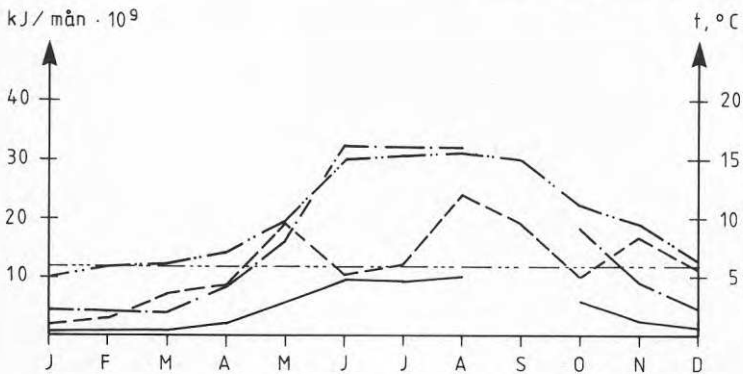
3.1.4 Infiltrationsanläggningar

Temperatur- och energidata för de fyra studerade anläggningarna med infiltrationsanläggningar framgår av Tabell 3.3

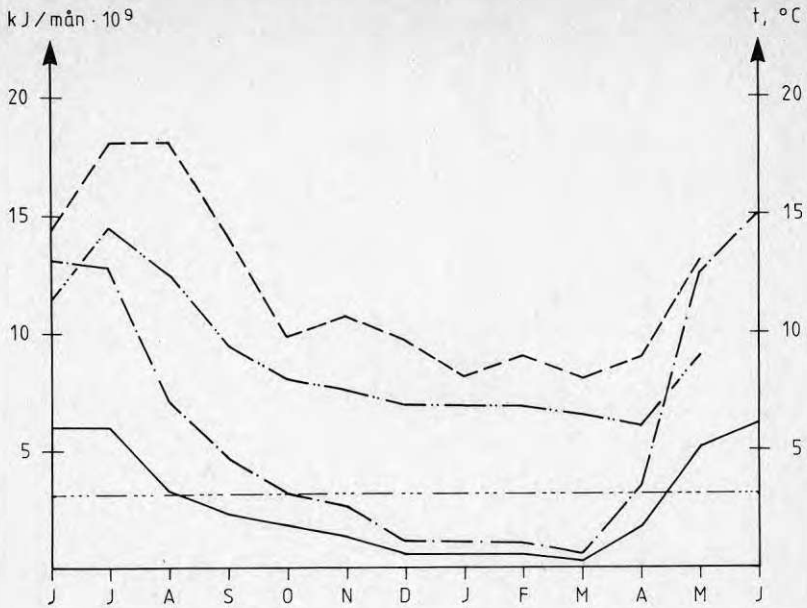


Figur 3.1 Driftdata Norrköping va-system 1979

— RENVATTEN, ENERGIMÄNGD
 - - - " , TEMPERATUR
 - - - - AVLOPPSVATTEN, ENERGIMÄNGD
 - · - · " , TEMPERATUR
 ····· JORDENS ÅRSMEDELTEMPERATUR

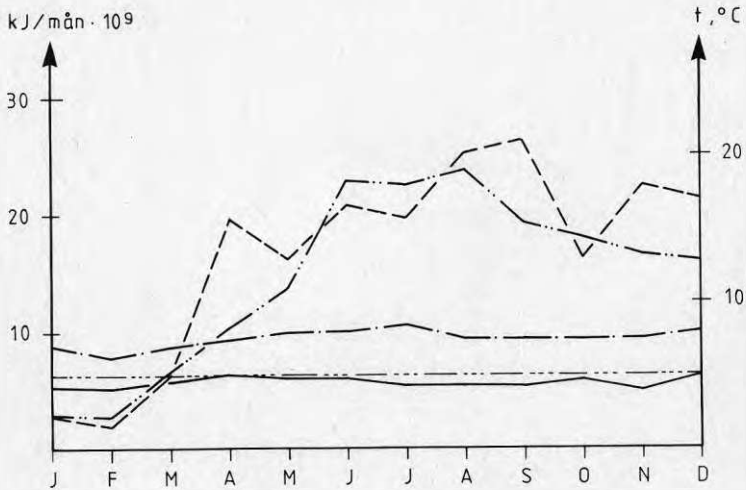


Figur 3.2 Driftdata Arboga va-system 1979



Figur 3.3 Driftdata Gällivare va-system 1969-70

- RENVATTEN, ENERGIMÄNGD
- - - " , TEMPERATUR
- - - - AVLOPPSVATTEN, ENERGIMÄNGD
- · - · - " , TEMPERATUR
- · · · · JORDENS ÅRSMEDELTEMPERATUR



Figur 3.4 Driftdata Söderhamn va-system 1979

	Hässleholm	Kristinehamn	Kumla*	Örebro
<u>Vattenverk</u>				
Renvattenprod, m ³ /mån.10 ³	190	257	124	1 072
Renvattentemp, °C	4,5-12,6	3,7-13,0	9,2-9,5	3,0-10,5
Energiflöde, kJ/mån.10 ⁹	4,0-10,8	3,7-14,2	4,2-5,4	14-45
Do, medel, kJ/mån.10 ⁹	7,2	8,2	4,8	28
Do, specifik, kJ/m ³ .10 ³	38	32	39	27
<u>Avloppsverk</u>				
Avloppsvattenmängd, m ³ /mån.10 ³	367	412	178	1 340
Avloppstemp, °C	10,1-16,3	6,5-14,9	8,3-15,5	7,2-16,0
Energiflöde, kJ/mån.10 ⁹	13,7-21,8	8,6-33,5	5,6-12,6	37-93
Do, medel, kJ/mån.10 ⁹	19,2	18,0	9,1	64
Do, specifik, kJ/m ³ .10 ³	52	44	51	48

*Data för tiden aug 1979 - juli 1980

Tabell 3.3 Data för studerade infiltrationsverk

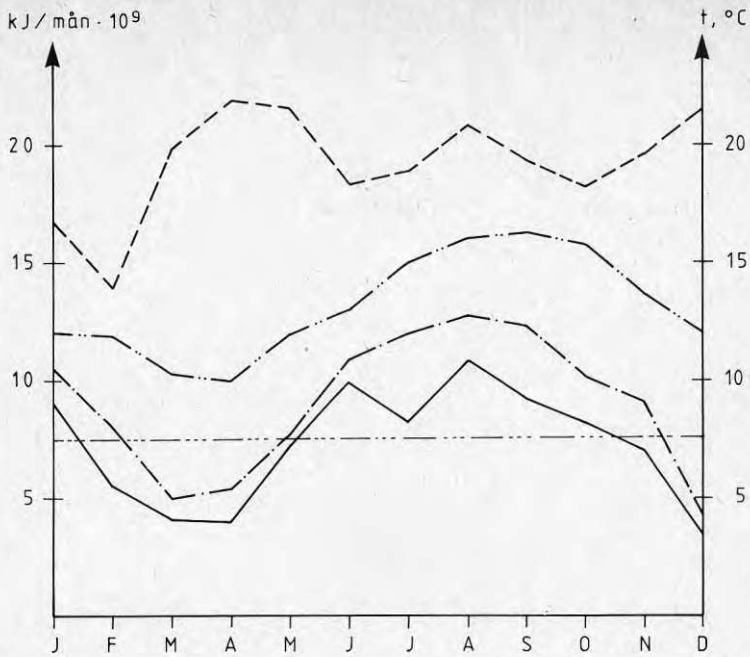
En sammanställning av data i diagramform för de fyra anläggningarna visas i Figur 3.5-3.8.

Temperaturen i såväl renvatten som avloppsvatten visar normalt ett minimum under senvintern och ett maximum under sensommaren. Energiflödet i renvattnet visar samma variation medan energiflödet i avloppsvattnet varierar på olika sätt beroende på avloppsledningsnätets egenskaper. I Kumla är renvattentemperaturen och därmed energiflödet mycket jämn under året. Detta torde bl a bero på att infiltrationsvattnet blandas med en relativt stor mängd naturligt grundvatten och att endast en del av blandningen sedan tas ut i renvattenbrunnarna. I Örebro är renvattentemperaturen och därmed det specifika energiinnehållet i renvattnet ovanligt lågt.

3.1.5 Slutsatser

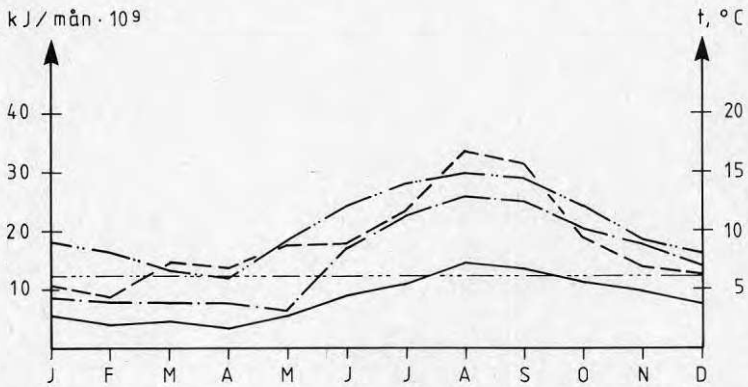
En sammanställning av specifika värmeinnehållet vid vattenverk resp avloppsverk för de åtta studerade anläggningarna visas i Figur 3.9.

Av figuren framgår att specifika värmeinnehållet i avloppsvattnet normalt är högre än i renvattnet (undantag Norrköping). Genom att avloppsvattenmängden dessutom är större blir det totala energiflödet avsevärt högre i avloppsvattnet än i renvattnet. Det bör dock noteras att avloppsflödet är ojämnt fördelat och att tillgängligt energiflöde därför varierar kraftigt i tiden när man tittar på korta tidsperioder.

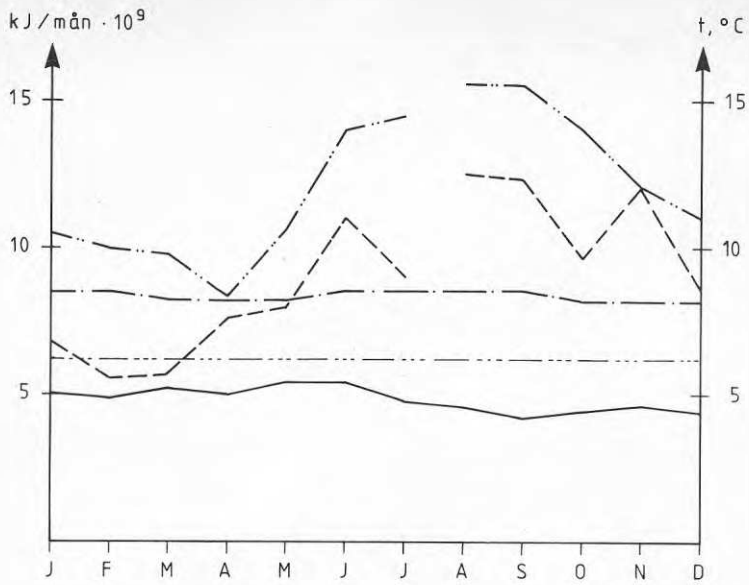


Figur 3.5 Driftdata Hässleholm va-system 1979

— RENVATTEN, ENERGIMÄNGD
 - - - " , TEMPERATUR
 - - - AVLOPPSVATTEN, ENERGIMÄNGD
 - - - " , TEMPERATUR
 ····· JORDENS ÅRSMEDELTEMPERATUR

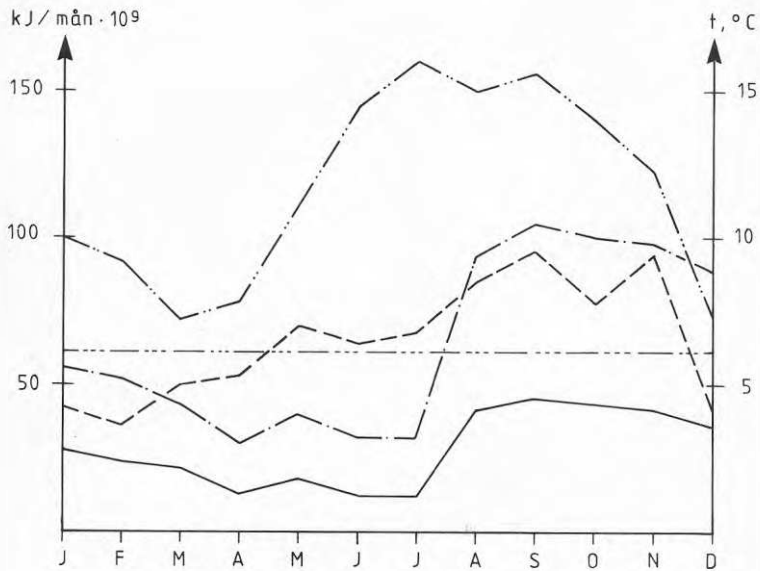


Figur 3.6 Driftdata Kristinehamn va-system 1979

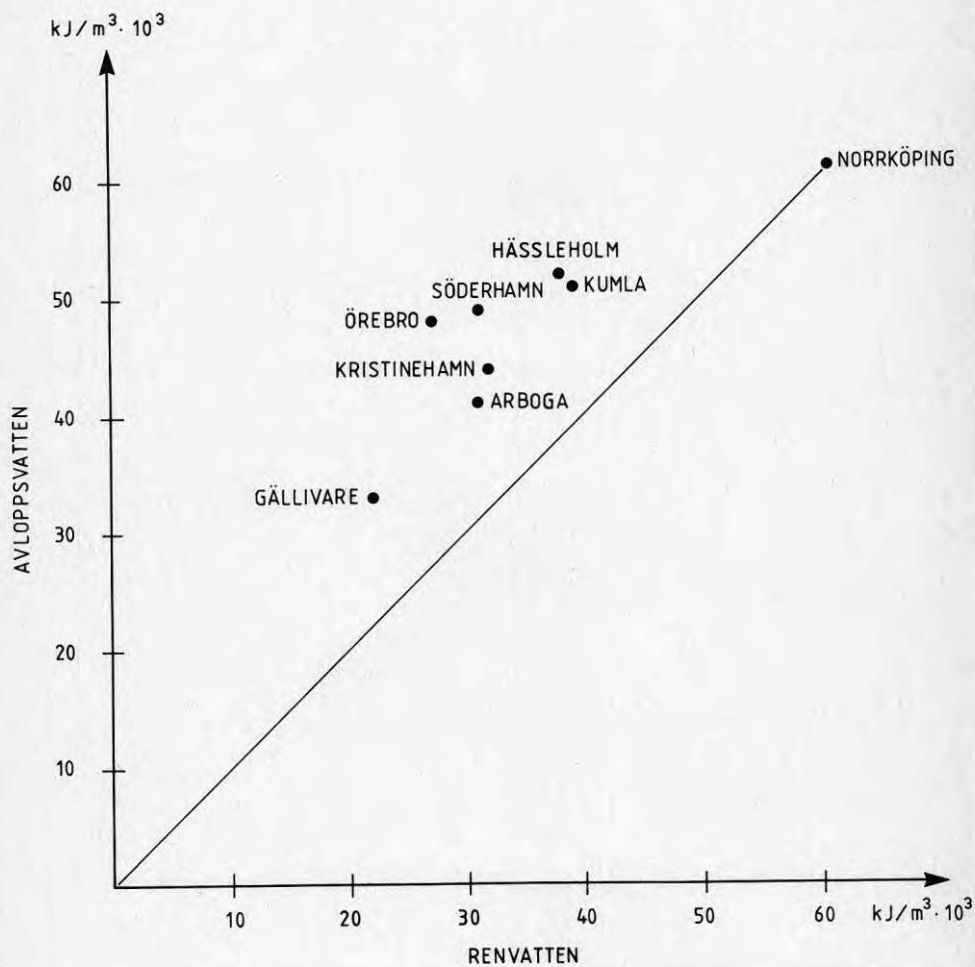


Figur 3.7 Driftdata Kumla va-system 1979

- RENVATTEN, ENERGIMÄNGD
- - - " , TEMPERATUR
- - - AVLOPPSVATTEN, ENERGIMÄNGD
- · - · - " , TEMPERATUR
- · - · - JORDENS ÅRSMEDELTEMPERATUR



Figur 3.8 Driftdata Örebro va-system 1979



Figur 3.9 Specifikt energiinnehåll i renvatten och avloppsvatten för åtta svenska va-anläggningar

Det högre energiinnehållet i avloppsvattnet beror naturligtvis på varmvattenberedningen hos konsumenterna. Värmeinnehållet i avloppsvattnet är endast i begränsad omfattning beroende av värmeinnehållet i renvattnet. Temperaturtoppen i avloppsvattnet på sensommaren behöver således ej bero på en temperaturtopp i renvattnet, jfr figur 3.4.

3.2 Fältundersökningar i Kumla

3.2.1 Beskrivning av Kumla va-system

Avsikten med fältundersökningarna har varit att den teoretiska genomgång av va-hanteringens energiomsättning som görs i denna rapport skall verifieras och exemplifieras med uppgifter från en svensk kommun. Kumla centralorts va-system har efter samråd med ansvariga inom kommunen utvalts som referenssystem. Kumla kommun har ca 18 000 invånare varav ca 12 000 inom centralorten.

Ungefärliga vatten- och avloppsmängder inom referenssystemet framgår av Figur 3.10. I det följande görs en kortfattad beskrivning av va-systemets huvuddelar.

* Råvattentäkt - råvattenförsörjning

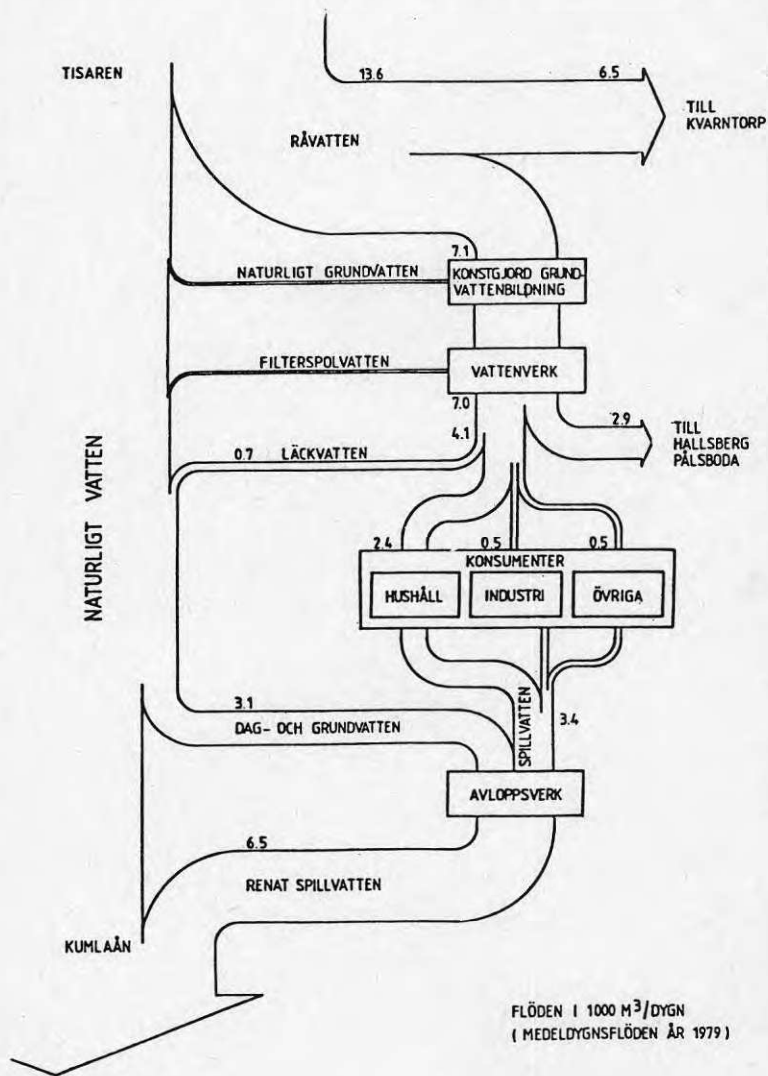
Råvatten tas från sjön Tisaren, som är belägen ca 12 km söder om Kumla. En pumpstation uppfordrar vatten från Tisaren via en trätub förlagd ovan mark till Hjälsättersdammen, som fungerar som utjämningsmagasin. Härifrån rinner råvattnet med självfall i jordtäckt ledning till Blacksta vattenverk i Kumla. Råvattnet leds genom en mikrosilanläggning för borttagande av alger m m.

* Infiltration - grundvattenbrunnar

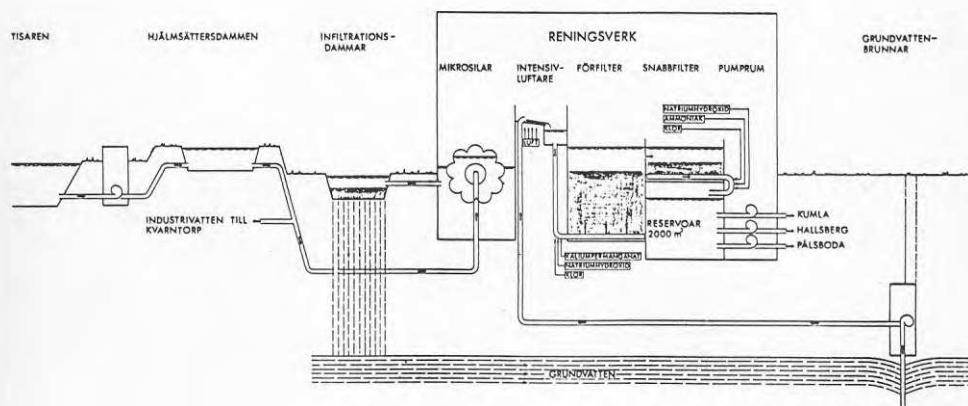
När råvattnet passerat genom mikrosilanläggningen infiltreras det i en vid vattenverket belägen grusås via fyra infiltrationsbassänger. Grundvatten från grusåsen tas ut i sju grusfilterbrunnar belägna ca 500 m från infiltrationsplatsen. Pumpen i respektive brunn pumpar grundvattnet till vattenverket.

* Vattenverk

Grundvattnet passerar i vattenverket luftare, förfilter och snabbfilter samt uppsamlas därefter i en lågreservoar. I luftaren sker oxidering av järn samt reduktion av vattnets kolsyrehalt. Före filtren tillsätts kaliumpermanganat för oxidering av mangan. Järn- och manganflockar samt suspenderade ämnen filteras sedan bort i filteranläggningen. Vattnets pH justeras därefter med natriumhydroxid samt steriliseras med klor och ammoniak. Ett flödesschema för vattenverket redovisas i Figur 3.11.



Figur 3.10 Vattenbudget Kumla va-system 1979



Figur 3.11 Blacksta vattenverk, Kumla

* Renvattendistribution

Distributionsområdets huvudledningar inom tätorten framgår av Figur 3.12. Ledningarnas dimensioner varierar mellan $\varnothing 100$ och $\varnothing 300$ mm. För tryckhållning och utjämning finns ett vattentorn i tätortens norra del.

* Spillvattenuppsamling

Avloppsnetets huvudledningar framgår av Figur 3.13. Tätorten delas i två områden av en åsrygg. Huvuddelen av spillvattnet avrinner dock med självfall till avloppsverket. Huvuddelen av ledningsnätet är separerat varvid dagvatten avrinner i självfallsledningar till Kumlaån. Kombinerat system förekommer i viss utsträckning.

* Avloppsverk

Reningskravet för anläggningen är 95 % reduktion av såväl BS som fosfor.

Verket är dimensionerat för 12 000 m³/d eller 21 000 pe varav 3 000 pe från industri. År 1979 var belastningen 20 000 pe varav 7 000 pe från industri.

En värmepumpänläggning för utnyttjande av värmets i utgående avloppsvatten för uppvärmning har nyligen tagits i drift.

De olika behandlingsstegen i anläggningen, som är helt överbyggd, framgår av Figur 3.14.

3.2.2 Mätningar

Följande mätvärden är av intresse för beskrivning av mediets totala energiinnehåll i ett va-system.

- nivå
- beståndsdelar
- temperatur
- volymflöde

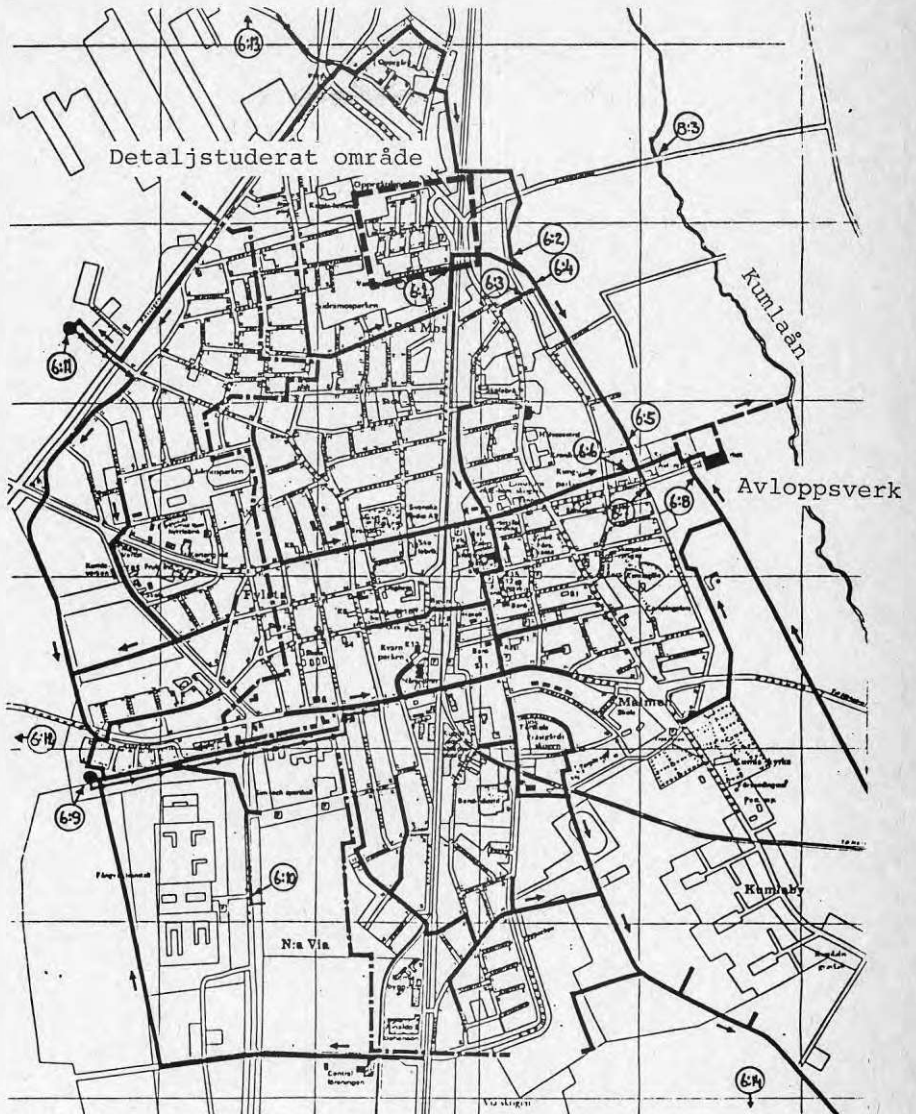
Vidare är uppgifter om de energimängder som tillförs i samband med vattnets respektive avloppsvattnets hantering av intresse. Många av dessa uppgifter noteras regelmässigt i samband med driften av va-systemet. Vissa uppgifter har emellertid tagits fram genom speciella mätningar. Mätningarna har genomförts under tre olika årstider - senvinter, sommar och höst.

Programmet för fältmätningarna har innefattat mätningar:

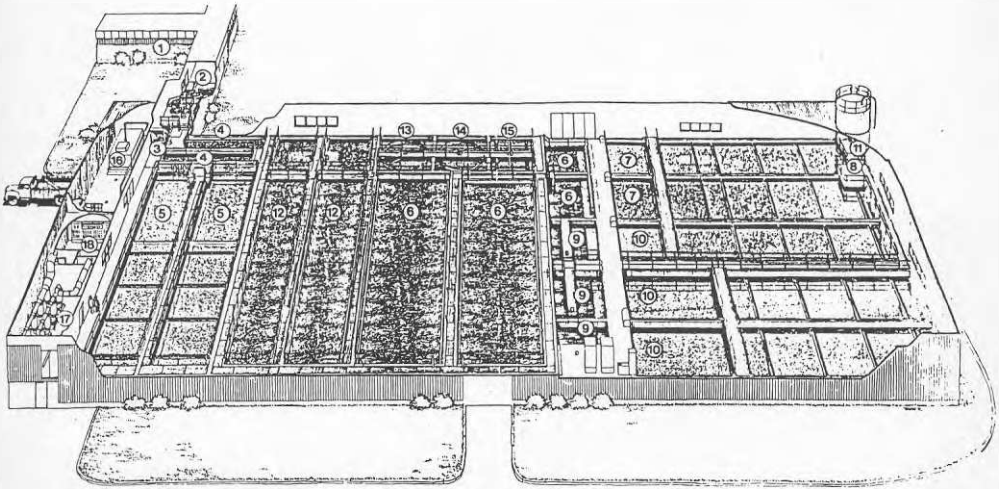
- i naturliga huvudpunkter i va-systemet, där uppgifter helt saknats eller noggrannare kännedom önskats (ex vid råvattenintag, vid behandlingsheter i vatten och avloppsverk etc)
- i valda punkter på vattendistributions- och spillvattenuppsamlingsnäten



Figur 3.12 Distributionsnät för renvatten med mätpunkter



Figur 3.13 Avloppsnet med mätpunkter



① Pumpstation I	Lyfthöjd = +34.30 +39.00 MNN	⑩ Slutsedimentering	Area = $3 \times 190 \text{ m}^2$, $V = 3 \times 615 \text{ m}^3$ vy +42.20 MNN
② Pumpstation II	Lyfthöjd = +38.20 +41.20 MNN	⑪ Flödes- och ph-mätning	Utløpskanal vg +39.10
③ Maskinrensat galler		⑫ Slamluftning	$V = 2 \times 810 = 1620 \text{ m}^3$ varav ca 270 m^3 utnyttjas som slamlager
④ Sandavskiljare	Luftad $V = 2 \times 75 \text{ m}^3$	⑬ Slamförtjockare för biologiskt slam	$A = 35 \text{ m}^2$, $V = 130 \text{ m}^3$
⑤ Försedimentering	Area = $2 \times 150 \text{ m}^2$, $V = 2 \times 565 \text{ m}^3$ vy +40.80 MNN	⑭ Slamförtjockare för blandslam	$A = 35^2$, $V = 130 \text{ m}^3$
⑥ Luftning	$Y = 2 \times 960 + 2 \times 100 = 2120 \text{ m}^3$	⑮ Slamförtjockare för kesslam	$A = 35 \text{ m}^2$, $V = 130 \text{ m}^3$
⑦ Mellansedimentering	Area = $2 \times 192 \text{ m}^2$, $V = 2 \times 675 \text{ m}^3$ vy +40.45 MNN	⑯ Slampress	Kapacitet ca $10 \text{ m}^3/\text{h}$
⑧ Aluminiumsulfatdosering	F n järnkoriddosering som simultan- och efterföljning	⑰ Kompressorer	Installerad effekt $5 \times 40 \text{ kW}$
⑨ Flockning	$V = 3 \times 98 = 294 \text{ m}^3$	⑱ Vaktrum	

DIMENSIONERANDE TILLRINNING

Hushålls- och industriavloppsvatten	= 5760 m^3/d
Grund- och drösvatten	= 900 "
q dim = $\frac{5760}{18} + \frac{900}{10} + \frac{2160}{24}$	= 500 m^3/h

AKTUELL TILLRINNING

Total avloppsvattnemängd 1979	= 2.34 milj. m^3
Årsmedel	= 6425 m^3/d
Torrväderstillrinning	= 5000 "

Figur 3.14 Kumla avloppsreningsverk

- i spillvattenledningen från ett utvalt va-konsumentområde

Mätpunkterna inom vattendistributions- och spillvattenuppsamlingsnätet enligt ovan har dels fördelats över respektive nät för att klargöra lägesberoende och temperaturberoende och dels koncentrerats till en utvald spillvattenledning för att mäta förändringar i spillvattnets värmeenergiinnehåll över en viss transportsträcka.

Mätningarna i spillvattennätet från konsumentområdet har utförts med skrivande instrument för kontinuerlig mätning av temperatur och flöde. Varje mätningstillfälle, 3 st, har omfattat ett dygn. Renvattentemperaturen till området uppmättes fem gånger under respektive dygn. Mätningarna gav dels uppgifter för uppskattning av energitillskottet över konsumentblocket, dels ingångsvärden till spillvattenuppsamlingsblocket.

Vid val av konsumentområde beaktades bl a följande:

- representativitet för orten
- storlek (tillräcklig utjämning av mätvärden)
- närhet till enskild konsument (tät bebyggelse - korta ledningssträckor)
- separeringsgrad hos avloppssystemet

Mätpunkternas läge framgår av Figurerna 3.12 och 3.13.

För mätningarna har va-systemet indelats i följande block:

- Block 1 Råvatten - råvattenöverföring
- 2 Infiltration - grundvattenbrunnar
- 3 Vattenverk
- 4 Renvattendistribution
- 5 Konsument
- 6 Spillvattenuppsamling
- 7 Avloppsverk
- 8 Recipient

Av utrymmesskäl har beskrivningen och redovisningen av fältundersökningarna gjorts kortfattad i denna rapport. För mer detaljerade uppgifter hänvisas till separat rapport "Kumla va-system, mätdata", se Eriksson m fl (1980).

3.2.3 Mätningarnas genomförande

Vissa av de insamlade uppgifterna journalförs rutinemässigt av Kumla kommun. Detta gäller framför allt driftdata vid vatten- och avloppsverken. Övriga uppgifter har i huvudsak framtogs vid följande mätomgångar under år 1980:

1. Vinter och vår (14 mars och 15-16 april)
2. Sommar (2-3 juli)
3. Höst (6-7 november och 26 november)

Mätomgång_1

Mätningarna den 14 mars omfattade dels block 1 och 2 samt rekogniseringsmätningar. Vädret var halvklart, blåsigt och med en lufttemperatur av ca -1°C . Marken var täckt med snö.

Mätningarna den 15-16 april omfattade block 3-8. Perioden präglas av torrt och soligt väder. Temperaturen uppgick dagtid till ca $+10^{\circ}\text{C}$ och sjönk nattetid till ca -3°C . Marken var snöfri. Frost runt insidan av nedstigningsbrunnen vid punkt 6:2 indikerade ett tjäldjup om ca 2,2 m. Brunnen ligger i åsmaterial intill en snöröjd väg.

Mätomgång_2

Perioden föregicks av ett par veckor med regnigt väder. Något regn föll även den 1 juli. Under perioden var vädret klart och soligt. Temperaturen var nattetid ca $+5^{\circ}\text{C}$ och dagtid $+15$ - $+20^{\circ}\text{C}$.

Mätomgång_3

Mätningarna den 6-7 november omfattade en komplett mätomgång enligt mätprogrammet. Vädret varierade från mulet till halvklart och temperaturen var nattetid ca -5°C och dagtid några grader över noll. Ingen nederbörd förekom.

Mätningarna den 26 november omfattade diverse kompletterande mätningar och slutredovisning.

3.2.4 Mätresultatens utnyttjande

Mätresultaten har använts för att bedöma möjligheterna till energibesparande åtgärder i va-systemet i Kumla. Dessa möjligheter diskuteras för respektive slag av energi i avsnitten 4.3, 5.3 och 6.4.

Mätresultaten har dessutom utnyttjats för test och verifikation av uppställda beräkningsmodeller. Framst gäller detta temperaturuppgifter i vatten- och avloppsledningsnät, se avsnitt 6.2.

4. VA-HANTERINGENS LÄGEENERGIOMSÄTTNING

4.1 Allmänna förutsättningar

Omsättningen av lägeenergi i ett va-system är primärt beroende av de topografiska förhållandena, dvs nivåskillnaderna mellan vattentäkt, vattendistributionsanläggning, konsumenter, avloppsnät och recipient. Lägeenergin kan ökas genom pumpning, vilket normalt innebär en insats av elektrisk energi. Lägeenergin minskar genom friktionsförluster i ledningar, strypning i ventiler etc och omsätts härvid till värmeenergi.

Omsättningen av lägeenergi i ett befintligt va-system påverkas av i vilken omfattning vatten pumpas pga in- och utläckage i systemet. Exempel på sådan pumpning är råvattenpumpning till en infiltrationsanläggning där onödigt stora vattenmängder förloras, renvattenpumpning till ett läckande distributionsnät samt pumpning av avloppsvatten i ett spillvattennät med stor andel dag- och dräneringsvatten.

Erforderlig energiinsats för att öka lägeenergin påverkas av pumparnas verkningsgrad och anpassning för ev samkörning.

Vid ombyggnad eller nyanläggning av ett va-system påverkas omsättningen av lägeenergi av val av råvattentäkt, dimensionering av vattendistributionsnät och uppdelning i tryckzoner samt utformning av avloppsnät med strävan att minimera inläckning och att i största möjliga utsträckning nyttja självfallsledningar. Vid val av vattentäkt torde dock lägeenergispekten vara av underordnad betydelse.

4.2 Möjliga sätt att påverka lägeenergiomsättningen och deras konsekvenser

4.2.1 Vattenproduktion och vattendistribution

Den första förändringen av lägeenergin i ett va-system uppstår vid pumpning av råvatten från vattentäkt till reningsverk. Vattenförluster och därmed energiförluster kan härvid främst uppstå vid anläggningar för konstgjord infiltration. I dessa fall leder man nämligen ner råvattnet i ett grundvattenmagasin där det renas genom naturliga reningsprocesser och sedan uppfordas tillsammans med eventuellt naturligt grundvatten. Om en ändamålsenlig styrning av anläggningen ej sker är det risk att en del vatten strömmar bort från anläggningen och går förlorat. Det bästa hjälpmedlet för styrningen av en infiltrationsanläggning torde vara en matematisk modell med vars hjälp man kan simulera olika driftförhållanden.

Vattendistributionen medför vatten- och energiförluster pga läckor. Pumpningen av renvatten in på distributionsnätet innebär en höjning av trycket vilket sedan kan

omvandlas till lägesenergi. För den del av vattnet som läcker ut förloras detta energitillskott helt. Dessa förluster kan minskas genom att ledningsnätet tätas eller genom att trycket minskas och nätet delas upp i tryckzoner med hänsyn till de topografiska förhållandena och bebyggelsens utformning.

4.2.2 Avloppshantering

Vid renvattenkonsumtion omsätts huvuddelen av renvattnets lägesenergi i värmeenergi. Återstoden används för att i största möjliga utsträckning leda avloppsvattnet till reningsverket med hjälp av självfallsledningar.

I den mån det ej är möjligt att nyttja enbart självfallsledningar måste lägesenergi tillföras i avloppspumpstationer. I sådana fall innebär det en extra energiförlust om ovidkommande vatten, dvs dagvatten, läck- och dräneringsvatten etc tillförs ett spillvattennät och därefter pumpas bort. För att minska behovet av lägesenergiomsättning bör separering av dagvatten och tätning av spillvattennätet ske.

I många fall kan en olämplig placering av avskärande ledningar medföra energiförluster genom onödig pumpning av vatten som kanske kunnat avledas med självfall.

Vid reningsverket föreligger ofta ett behov av ökning av lägesenergin för att vattnet ska kunna ledas ut i recipienten. Energibehovet kan minskas om ovidkommande vatten hålls ute från spillvattennätet.

4.3 Omsättning av lägesenergi i Kumla

4.3.1 Råvattenpumpning och råvattenförluster

Råvatten pumpas från Tisaren till Hjälsättersdammen. Den dynamiska uppfordringshöjden är ca 8,5 m. Den specifika pumpenergiförbrukningen är ca 0,035 kWh/m³ och verkningsgraden, dvs kvoten mellan nyttiggjord och tillförd energimängd är ca 66 %.

Den infiltrerade råvattenmängden är ca 8 900 m³/d och den uppfordrade grundvattenmängden ca 8 300 m³/d. Den naturliga grundvattenmängden är ca 2 200 m³/d. Totalt innebär detta en vattenförlust i infiltrationsanläggningen av 2 800 m³/d vilket motsvarar en energiförlust av ca 100 kWh/dygn eller 36 000 kWh/år. En minskning av dessa förluster kan eventuellt uppnås med förbättrad styrning eller komplettering av anläggningen.

Grundvattnet uppfordras ur 7 st grundvattenbrunnar. Den dynamiska uppfordringshöjden är ca 42 m och den totala energiförbrukningen ca 1 300 kWh/d vilket innebär en specifik energiförbrukning av 0,15 kWh/m³. Verkningsgraden är således ca 0,76 vilket är tillfredsställande.

4.3.2 Renvattendistribution

Vattennivån i lågreservoaren är ca +50 m och i högreservoaren +80-90 m. Högsta distributionspunkt har nivå ca +60 och lägsta punkt ca +40. Enligt VAVs normer ska trycket i distributionsnätet ej överstiga 70 m vp och ej understiga 15 m vp vid högsta tappställe. Marginalen för sänkning av trycket i vattenledningsnätet är således liten.

Renvattnet (ca 3 800 m³/d) distribueras med hjälp av tre pumpar. Energiförbrukningen är 770-900 kWh/dygn eller 0,22 kWh/m³. Tillförlitligt underlag för beräkning av pumparnas verkningsgrad saknas men den synes vara tillfredsställande.

Av det distribuerade renvattnet läcker ca 700 m³/d ut från nätet vilket innebär en energiförlust av 150 kWh/dygn i renvattenpumpning. Härtill kommer att vattnet även pumpats som råvatten och grundvatten, vilket innebär en ytterligare energiförlust av 130 kWh/dygn. Den totala förlusten är således 280 kWh/dygn eller 100 000 kWh/år.

4.3.3 Avloppshantering

Till avloppsverket tillrinner ca 6 000 m³/d. Vattenmängden utöver spillvattenmängden är således 2 200 m³/d eller ca 50 % av spillvattenmängden.

På avloppsnätet finns en betydande pumpstation, vid Flysta. Vid denna pumpas ca 1 800 m³/d med en energiförbrukning av 140 kWh/d eller 0,08 kWh/m³. Det är ej möjligt att genom annorlunda ledningsdragning undvara denna pumpstation. Om man antar att den ovidkommande vattenmängden även här uppgår till 50 % av spillvattenmängden innebär denna pumpning en energiförlust av ca 50 kWh/dygn.

Vid avloppsverket uppfordras vattnet 3-5 m med hjälp av snäckpumpar. Den totala energiförbrukningen uppgår till ca 500 kWh/dygn eller 0,08 kWh/m³. Det ovidkommande vattnet innebär en energiåtgång av 160 kWh/m³ eller 60 000 kWh/år.

4.3.4 Sammanfattning för Kumla

Lägesenergiomsättningen i va-systemet i Kumla under år 1980 såsom den framkommit i föreliggande studie kan sammanfattas enligt Tabell 4.1.

	Energiför- brukning MWh/år	Förlust MWh/år	Möjliga åtgärder
Råvatten- pumpar *	114	36	Bättre styrning
Grundvatten- pumpar**	475	38	Tätning av vatten- distr nät
Renvatten- pumpar	305	55	---
Avloppsv pumpning, nät	73	24	Förhindra inläck- ning avloppsnät
Avloppsv pumpning, reningsverk	182	60	Förhindra inläck- ning
Summa	1 149	213	

* Vatten även till Kvarntorp och Hallsberg

**Vatten även till Hallsberg

Tabell 4.1 Lägesenergiomsättning i Kumla va-nät under år 1980

Den totalt tillförda lägesenergiomängden uppgår till ca 1 150 MWh varav ca 200 MWh utgör förluster pga brister i va-systemet. Några stora besparingar är ej möjliga att göra. Minskad utläckning från vattendistributionsnätet skulle ha den största effekten.

4.4 Slutsatser

Lägesenergiomsättningen i ett va-system är liten jämfört med andra i sammanhanget förekommande energimängder. Åtgärder som enbart syftar till en minskning av lägesenergiomsättningen kan endast i undantagsfall vara ekonomiskt motiverade (t ex utbyte av pumpar med mycket dålig verkningsgrad). De största energivinsterna kan göras genom tätning av ledningsnätet. Sådana åtgärder är dock kostsamma och kan ej motiveras enbart av energibesparingen.

5 OMSÄTTNING AV BIOKEMISK ENERGI

5.1 Allmänna förutsättningar

5.1.1 Kvantifiering av biokemisk energi

Biokemisk energi tillförs va-systemet i form av kemikalier i samband med rening av råvatten och avloppsvatten samt i form av föroreningar vid konsumtion av renvatten. Energiinnehållet i reningskemikalier antages därvid motsvaras av den energimängd som åtgår för framställning av kemikalier. Med detta betraktelsesätt gäller, enligt Wesner (1978) respektive Hydén (1979), värden enligt Tabell 5.1 för ett antal kemikalier som ofta används i vatten- och avloppsreningstekniken.

Kemikalie	Ungefärligt energibehov vid framställning (kJ/kg)
-----------	--

Aluminiumsulfat	700
Järnklorid	3 600
Släckt kalk	1 400
Polymerer	14 000
Klor	26 000

Tabell 5.1 Energiåtgång vid kemikalieframställning

Flera olika metoder anges i litteraturen för teoretisk bestämning av organiska föroreningars energiinnehåll, se Hultman (1980). Om sammansättningen för det organiska materialet är känd kan följande formel användas:

$$W = 33,8C + 144,3\left(H - \frac{O}{8}\right) \quad (5.1)$$

där W = energiinnehåll i torrt organiskt material, kJ/g TS,
 C , H och O = viktsandelar av kol, väte respektive syre i det torra organiska materialet.

För bakterier anges ofta sammansättningen som $C_5H_7O_2N$ med en viktsandel av kol, väte och syre på 0,53, 0,062 respektive 0,28. Insatt i formel (5.1) blir energiinnehållet för bakterierna 21,8 kJ/g TS.

Vid förbränning blir energiinnehållet i organiskt material räknat som kemisk syreförbrukande substans ca 13,6 kJ/g COD. 1 g bakterier med sammansättningen $C_5H_7O_2N$ har en kemisk syreförbrukning på 1,42 g COD och med omräkningsfaktorn 13,6 kJ/g COD skulle energiinnehållet för bakterierna bli 19,3 kJ/g TS, dvs något lägre än det tidigare framräknade värdet.

Experimentellt bestämda värden för energiinnehållet i bakterier varierar mellan ca 20-25 kJ/g TS.

Med en genomsnittlig specifik föroreningsmängd på 150 g COD/p.d och omräkningsfaktorn 13,6 kJ/g COD skulle specifik energimängden på grund av organiskt material i kommunalt avloppsvatten vara ca 2 MJ/p.d.

Kommunalt avloppsvatten innehåller även fosfor och kväve som utgör nödvändiga delkomponenter vid bildning av organiska föreningar genom fotosyntes. Vid en teoretisk beräkning av ekvivalent energimängd för fosfor och kväve kan man utgå från den mängd organiskt material som kan genereras med hjälp av dessa närsalter i avloppsvattnet. Ett avloppsvatten med 3 g P/p.d och fosfor som begränsande ämne motsvarar teoretiskt ca 350 g algmassa/p.d, dvs 6-7 MJ/p.d vid fullständig förbränning.

Alternativt kan energiinnehållet i närsalterna beräknas utgående från den energimängd som erfordras vid framställning av motsvarande mängd konstgödning. Härvid kan följande värden användas enligt Hahn m fl (1979):

Kväve, kJ/g	70-180
Fosfor, kJ/g	7- 40

Med en specifik föroreningsmängd av 3 g P/p.d respektive 12 g N/p.d kan energiinnehållet beräknas till 0,9-2,3 MJ/p.d.

Energiinnehållet i det organiska materialet har ovan angivits som frigjord energimängd vid fullständig fullbränning av torrsbstans. I själva verket återfinns det organiska materialet i mycket utspädd form i avloppsvattnet. Detsamma gäller den algmassa som antas kunna odlas med hjälp av näringsämnen i avloppsvatten. Därför krävs energi för att koncentrera (avvattna, torka) det organiska materialet. I vissa fall saknas kunskap och teknologi för dessa processer.

Som ett praktiskt möjligt alternativ kan man därför utgå från energiutvinning genom anaerob rötning av organiskt material. Härvid krävs energi för koncentration och separation samt för att hålla processen vid rätt temperatur. Vid praktisk drift torde man därvid kunna erhålla maximalt ca 1,5 MJ/p.d, dvs ca 75 % av den energimängd som kan erhållas genom förbränning.

5.1.2 Biokemisk energi i va-system

I kommunala vattenförsörjningsanläggningar behandlas årligen ca 1 miljard m³ råvatten, motsvarande 389 l/p.d, jfr VAV (1977). Vattenrensningens fördelning på olika reningsprocesser framgår av Tabell 5.2

Reningsprocess	%-andel	Mm ³
Grundvatten	47	470
Ytvatten - kemisk fällning	42	420
"- - filtrering	9	90
"- - övriga metoder	2	20

Tabell 5.2 Vattenrensningprocesser

I Tabell 5.3 respektive 5.4 redovisas en överslagsmässig beräkning av kemikalieåtgången vid vattenrening samt tillhörande energiåtgång:

Reningsprocess	Antagen kemikaliedos, g/m ³				
	Al-sulfat	Vattenglas	Kalk	Lut	Klor
Grundvatten	-	-	-	10	0,5
Ytvatten - kemisk fällning	50	5	25	-	1
-"- - filtrering	-	-	10	-	1
-"- - övr metoder	-	-	-	10	1

Tabell 5.3 Antagen specifik kemikalieåtgång vid vattenrening

Reningsprocess	Energiåtgång, kJ.10 ⁶ /år				
	Al-sulfat	Vattenglas	Kalk	Lut	Klor
Grundvatten	-	-	-	122000	3300
Ytvatten - kemisk fällning	13200	29400	14700	-	5900
-"- - filtrering	-	-	1300	-	1300
-"- - övr metoder	-	-	-	5200	300
Delsumma	13200	29400	16000	127200	10800
Totalsumma: 196600.10 ⁶ kJ/år motsv ca 80 kJ/p.d (0,02 kWh/pd)					

Tabell 5.4 Energimängd i vattenreningskemikalier (totalt för Sverige)

Som framgår av Tabell 5.4 (och även av Tabell 2.1 tidigare) är den totala energimängden i reningskemikalier liten jämfört med övriga poster i en energibalans. Bilden förändras ej även om man inkluderar energi för kemikalietransporter vilket ej gjorts ovan.

I samband med renvattnets användning hos konsumenten tillförs vattnet föroreningar varefter det avleds som spillvatten.

I Tabell 5.5 har sammanställts översiktliga uppgifter om avloppsvattenmängder och deras förorenings- och energiinnehåll för svenska kommunala avloppsreningsverk. Uppgifterna är i huvudsak hämtade från Hahn m fl (1979).

Anslutning:	9,4.10 ⁶ pe varav 2,2 industri
Vattenmängd:	2.10 ⁹ m ³ /år
Organisk substans, teoretisk energimängd:	7.10 ⁹ MJ/år
Do efter rening:	2,5.10 ⁹ MJ/år
Fosformängd:	11 000 t/år
Do efter rening:	2 100 t/år
Kvävemängd:	37 000 t/år
Do efter rening:	23 000 t/år

Tabell 5.5 Uppgifter om kommunalt avloppsvatten i Sverige

I Figur 5.1, hämtad ur Hahn m fl (1979), redovisas ett exempel på hur det teoretiska energiinnehållet i organiskt material, beräknat som förbränning av organiskt material, förändras i ett reningsverk.

En uppskattning av den totala kemikalieåtgången i Sverige vid kemisk rening av kommunalt avloppsvatten redovisas i Tabell 5.6. Underlagsmaterialet till tabellen är hämtat från Ulmgren m fl (1975) resp Hultman (1973).

Kemikalie	Använd kvantitet, ton/år	Motsvarande energimängd, MJ·10 ⁶ /år
Aluminiumsalt	126 000	88
Järnsalt	74 000	266
Kalk	30 000	42
Polymerer	2 300	8
Klor	600	32
		436 motsv ca 200 KJ/p.d (0,06 kWh/pd)

Tabell 5.6 Energimängd i kemikalier för avloppsvattenrening

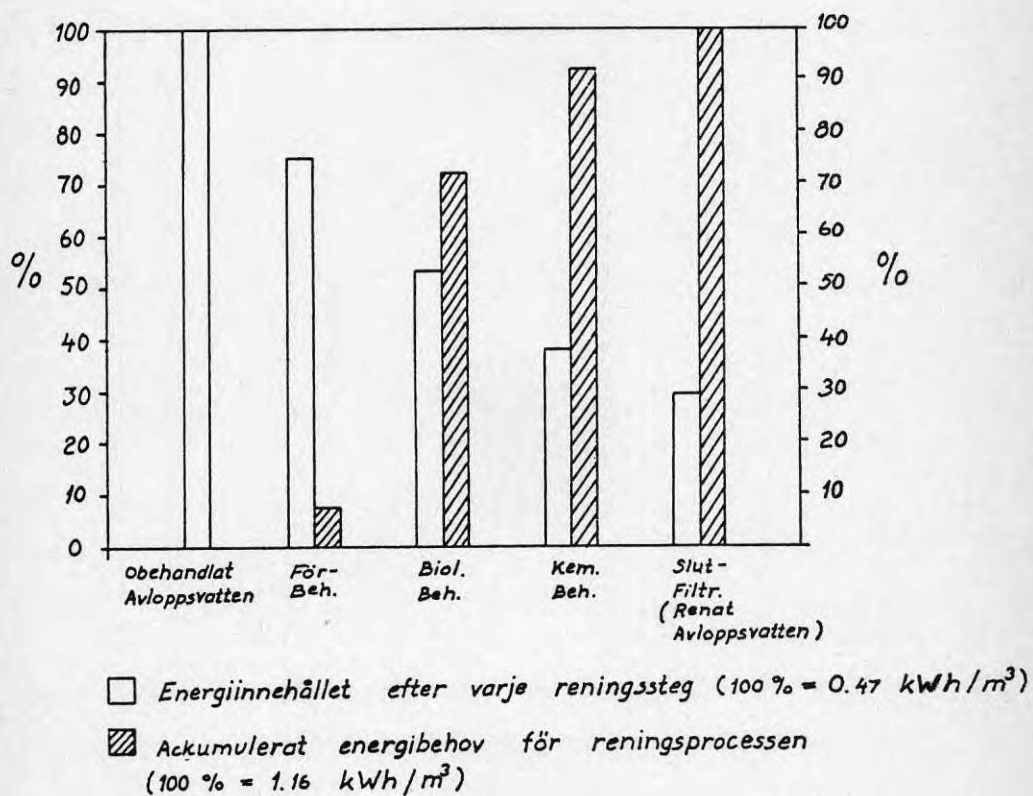
Det bör påpekas att ej heller i detta fall är transportenergin medtagen i beräkningen. Transportenergin kan antas uppgå till ca 30 kJ/p.d. (0,01 kWh/pd)

Vid rening av avloppsvatten bildas slam. Ungefärliga slammängder respektive energiinnehåll redovisas i Tabell 5.7, se även Gustavsson m fl (1975).

Slamtyp	Slammängd ton/år	TS-halt %	Teoretiskt energiinnehåll MJ·10 ⁶ /år
Primärslam	100 000	4-10	1 795
Bioslam	60 000	1-3	1 270
Kemslam	50 000	1-3	566

Tabell 5.7 Avloppsslam - mängd och energiinnehåll

De föroreningar i avloppsvattnet som ej binds i slammet följer med det behandlade avloppsvattnet ut i recipienten. Med de reningsmetoder som idag används avskiljs ca 90 % av fosfor och 60-70 % av det organiska energiinnehållet. Däremot avskiljs endast ca 30 % av kväveinnehållet. Eftersom kväve har stor energipotential, speciellt om beräkningen baseras på energiåtgång vid konstgödseltillverkning, innebär detta att en stor del av energiinnehållet i inkommande avloppsvatten också följer med det behandlade avloppsvattnet ut i recipienten.



Figur 5.1 Exempel på procentuell förändring i energiinnehåll efter respektive reningssteg i ett avloppsreningsverk, efter Hahn m fl (1979).

5.2 Möjliga sätt att påverka omsättningen av biokemisk energi

5.2.1 Påverkan hos konsumenten och på ledningsnäten

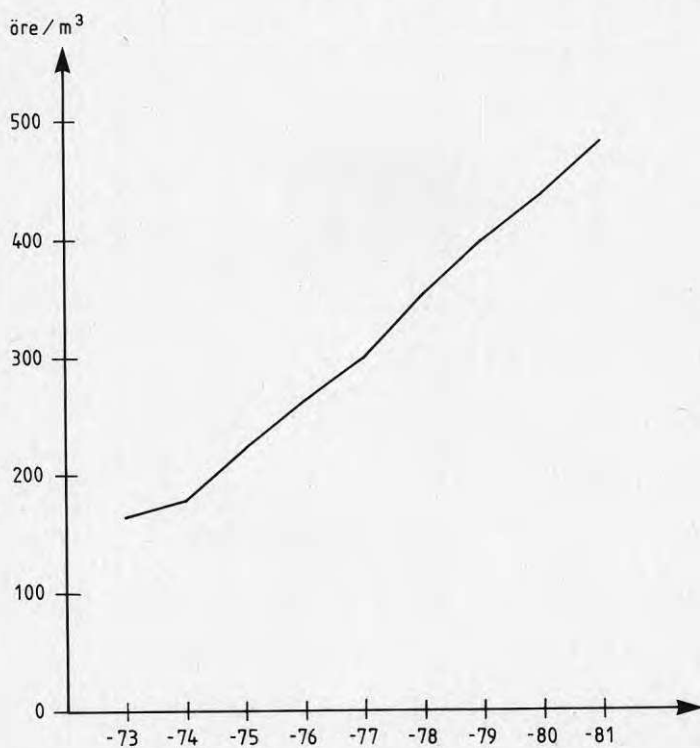
Konsumenten kan, genom att öka eller minska sin vattenförbrukning, påverka kemikalieåtgången i vattenverk och avloppsreningsverk. Den kommunala vattenförbrukningen ökade oavbrutet fram till omkring 1970 då en stagnation inträdde, se VAV (1975b). I vissa kommuner ersattes ökningen av en minskning. Ungefär samtidigt steg va-avgifterna i kommunerna kraftigt, jfr VAV (1975a) och VAV (1981). Avgiften per m³ under perioden 1973-81 redovisas i Figur 5.2. Från ett pris av ca 1 kr/m³ under en lång period har priset snabbt stigit till knappt 5 kr/m³. I flera kommuner diskuteras nu avgifter på 8-9 kr/m³. En fortsatt ökning av va-avgiften kan i framtiden medföra en minskad vattenförbrukning, och därmed även en minskad energiåtgång för kemikalier. Kemikalieåtgången i reningsverken är i stort sett proportionell mot den behandlade vattenmängden.

Vattenmängden kan minskas också genom att göra ledningsnäten tätare. Förlusterna genom bl a utläckage i vattenledningsnäten uppgår till ca 10 % av produktionen. På motsvarande sätt kan inläckage av grundvatten och dräneringsvatten till avloppsnäten samt avledning av dagvatten i spillvattennätet öka den totala avloppsvattenmängden till flera gånger den egentliga spillvattenmängden.

Den dominerande mängden biokemisk energi återfinns i de föroreningar som medföljer avloppsvattnet. Normalvärden för organiskt material respektive närsalter är ca 70 g BOD₅/p.d respektive 3 g P/p.d och 12 g N/p.d. Värdena för organiska ämnen är ungefär desamma som i jämförbara länder i Västeuropa, se Mikkelsen m fl (1971). Andra värden skulle kunna bli aktuella som en följd av annan hushållsutrustning. Så skulle exempelvis införande av Multrum eller motsvarande anläggning i hushållen minska mängden organiska ämnen. På motsvarande sätt skulle införande av avfallskvarnar öka mängden organiska ämnen. Mängden fosfor är i hög grad beroende av användningen av fosfatbaserade tvättmedel och var tidigare högre, närmare 4 g/p.d. Om fosfatfria tvättmedel infördes generellt skulle fosformängden minska till omkring 2 g/p.d. Huvuddelen av kvävet i avloppsvatten härrör från toalettanvändning vilket förhållande knappast kan komma att förändras i befintliga system inom överskådlig framtid.

5.2.2 Reningsförfarande

Den energiinsats som tillsatsen av kemikalier vid vatten- och avloppsreningsverk innebär är beroende av vilken typ av reningsmetod som väljs och vilken reningsgrad som eftersträvas. Generellt sett innebär kemisk rening naturligtvis en större energiinsats i form av kemikalier än mekanisk och biologisk rening. De senare metoderna kräver dock andra energiinsatser, t ex i form av elenergi för luftningsanläggningar.



Figur 5.2 Va-taxan per m³ 1973-1981 - vägt genomsnittspris.

Av avgörande betydelse för energibehovet är vilken reningsgrad som eftersträvas vid behandlingen. En begränsning av reningskraven till vad som är praxis idag eller en minskning av dessa krav kan komma att innebära en betydelsefull energibesparing i va-hantering- en. En sådan minskning av kraven kan möjliggöras om avloppsvattnet betraktas som en resurs. Detta diskuteras i följande avsnitt.

När reningskrav fastställts och reningsmetod valts kan marginella energivinster göras genom val av kemikalier som innebär en liten energiinsats. Exempel på sådana val är pH-justering med kalk i stället för lut i vattenverk och fällning med aluminiumsulfat i stället för med järnklorid i avloppsverk. Andra faktorer än energiaspekter är dock troligtvis normalt mer styrande för val av kemikalier.

5.2.3 Avloppsvatten och slam som energiresurs

Huvuddelen av energiinnehållet i obehandlat avloppsvatten återfinns efter behandling i höggradigt reningsverk i det avskiljda slammet. En del av den således bundna energin kan återvinnas genom anaerob slamstabilisering, rötning. Härvid kan ca 75 % av energiinnehållet i det organiska materialet återvinnas. Närsalterna i det rötade slammet kan tillgodogöras om detta utnyttjas för växtgödning. Problemet vid utnyttjande i jordbruket har varit innehållet av tungmetaller. Rötning av slam är ur energisynpunkt önskvärt så fort som avloppsverkets storlek medger detta.

En begränsning av reningskraven och därmed energiinsatsen vid avloppsrening och även ett utnyttjande av avloppsvattnets energiinnehåll är möjlig om avloppsvattnet efter nödvändig behandling används för bevattning av jordbruk eller energiskog, vilka båda kan komma att bli realistiska möjligheter.

Fröman m fl (1981) behandlar energiaspekter vid jordbruksbevattning med avloppsvatten mot bakgrund av erfarenheter från pilotstudier i Sölvesborg. Jordbruksbevattning med i storleksordningen 100 mm/år kan vara motiverad i stora delar av södra och östra Sverige. Om allt vatten från ett avloppsverk skulle kunna utnyttjas för bevattning skulle en areal av ca 0,1 ha per ansluten person kunna bevattnas. Om lagring av vatten till bevattningssäsongen ej är möjlig sjunker arealen till ca en tredjedel. Energivinster skulle kunna göras i följande avseenden

- minskad rening, ca 0,1 kWh/m³ (endast mekanisk och biologisk rening av bevattningsvattnet)
- bevattningseffekt i form av ökad gröda, ca 7 kWh/m³
- gödslingsseffekt, ca 1 kWh/m³

Mot vinsten ställes en energiförlust pga pumpningsbehov

som är av samma storleksordning som vinsten pga minskat reningsbehov. Den dominerande energivinsten är bevattningseffekten. Denna effekt kan dock uppnås även med bevattning med annat vatten. Endast de övriga energivinsterna vid avloppsvattenbevattning kan därför ställas i relation till fördelarna att för bevattning utnyttja annat mer lättillgängligt vatten.

Avloppsbevattning av energiodlingssystem har behandlats av Hasselgren (1980). Bevattning av energiskog med upp till 300 mm/år skulle kunna vara motiverad i betydande delar av Sverige. Bevattning under en stor del av året med mekaniskt renat vatten skulle således kunna vara möjlig. Energivinster pga minskat reningsbehov, bevattningseffekter och gödslingseffekter på samma sätt som för jordbruksbevattning skulle härigenom kunna uppnås.

Utpumpning av obehandlat avloppsvatten på våtmarker och utnyttjande av renat avloppsvatten i akvakulturer är andra möjligheter till påverkan på energisättningen i va-hanteringen som översiktligt behandlas av Hahn m fl (1979).

5.3 Tillämpning i Kumla

Vattenförsörjningen i Kumla baseras på naturligt och infiltrerat grundvatten. Kemikalier används för oxidering av mangan (kaliumpermanganat, ca $0,4 \text{ g/m}^3$), pH--justering (natriumhydroxid, ca $1,7 \text{ g/m}^3$) och sterilisering (klor, ca $0,5 \text{ g/m}^3$). Kemikaliemängderna är små och några större energivinster kan ej göras. Övergång från natriumhydroxid till kalk är teoretiskt gynnsam ur energisynpunkt.

I avloppsvattenreningen används för närvarande järnklorid för simultan- och efterfällning. Dosen är 60 ml/m^3 som simultanfällning och 40 ml/m^3 som efterfällning. Den kemikalie som används är Ferriklor 12 innehållande 175 g Fe^{3+} per l lösning. Vidare tillsätts 3-5 kg polymerer per ton torrsbstans vid slamavvattningen. Järnsaltet utnyttjas genom recirkulation relativt effektivt i avloppsverket. Ur energisynpunkt skulle övergång till aluminiumfällning kunna vara motiverad. Förutsatt att samma reningsresultat kunde uppnås med en dos av $150 \text{ mg Al-sulfat/l}$ skulle på detta sätt en energibesparing på $5,5 \cdot 10^5 \text{ MJ/år}$ (ca $150\,000 \text{ kWh/år}$) kunna göras.

I detta sammanhang bör noteras den betydande elenergiförbrukningen för luftningsbassängernas blåsmaskiner, ca $900\,000 \text{ kWh/år}$ ($3,2 \cdot 10^6 \text{ MJ/år}$). En optimering av luftningen är således väsentlig ur energisynpunkt.

För närvarande stabiliseras slammet i Kumla genom oxidation varefter det deponeras på tipp och avloppsvattnet släpps efter rening ut i Kumlaån. Detta innebär att inte någon del av "föroreningsenergin" utnyttjas. Energpotentialen i föroreningarna är betydligt större än

i reningskemikalierna. Möjligheterna att utnyttja detta energiinnehåll bör därför studeras. Anaerob slamstabilisering och utvinning av rötgas kan vara praktiskt genomförbar och gynnsam ur energisynpunkt.

Kumla är beläget i en del av landet där bevattning av såväl jordbruk som energiskog med avloppsvatten skulle kunna vara möjlig. Avloppsverket synes också vara så beläget att avloppsvattnet skulle kunna utnyttjas. Identifiering av möjliga bevattningsprojekt i området är därför motiverad. Minskat reningsbehov och utnyttjande av avloppsvattnets energiinnehåll skulle härigenom uppnås.

5.4 Slutsatser

Energiinnehållet i kemikalier för rening av vatten och avloppsvatten är relativt blygsam och möjligheterna till besparingar i befintliga system med bibehållen reningsgrad begränsade. Betydande energibesparingar skulle dock kunna uppnås om reningskraven i avloppsverken kunde begränsas, exempelvis så långt att även det biologiska steget kunde utgå. Om avloppsvattnet då utnyttjades för bevattning av jordbruk eller energiskog skulle samtidigt avloppsvattnets energiinnehåll kunna utnyttjas.

6 VA-HANTERINGENS VÄRMEENERGIOMSÄTTNING

6.1 Allmänna förutsättningar

Den dominerande energiformen inom va-hanteringen är värme vid låg temperatur. Avgörande för va-systemets värmeenergiomsättning är råvattentemperaturen, värmeförlusten vid konsumtion samt värmeutbytet mellan ledningssystem och omgivande mark för såväl vattenlednings- som avloppsnätet. Råvattentemperaturen samt värmeförlusten vid konsumtion är generellt förhållandevis väl kända medan värmeutbytet mellan ledningar ej studerats i lika hög grad. En väsentlig uppgift för denna utredning är att klargöra detta värmeutbyte så att lämpliga punkter för uttag av värme från systemet ska kunna bestämmas. Värmeutbytet är främst beroende av ledningsmaterial, läggningsdjup, rörgravens utformning med andra ledningar och återfyllnadsmaterial, grundvattenförhållanden, läckage och vattenomsättning.

Totalt sett är värmeinnehållet i va-systemet betydande. Som framgår av Tabell 2.1 är det teoretiska energiinnehållet i renvattnet, inklusive den energi som tillförs för uppvärmning av varmvatten, i storleksordningen $65-75 \text{ MJ/m}^3$ ($18-21 \text{ kWh/m}^3$).

I Figur 3.9 har redovisats specifikt energiinnehåll i renvatten och avloppsvatten för ett antal svenska va-anläggningar. Av figuren framgår att avloppsvattnets specifika energiinnehåll i genomsnitt är $10-15 \text{ MJ/m}^3$ högre än renvattnets. Avloppsvattenmängden är dessutom betydligt större än renvattenmängden. Differensen motsvarar ca 30 MJ/m^3 renvatten, dvs ungefär den mängd som tillsätts för varmvattenuppvärmning. Energitillskottet kan delvis härledas just till varmvattenuppvärmning även om en betydande del av varmvattenenergin går förlorad under transporten och på årsbasis ersätts av värmeinnehållet i inläckande vatten.

Det tillgängliga värmnet är oftast av låg temperatur och därför utnyttjningsbart endast med speciell teknik, i första hand värmepumpar. Värmepumpar har hittills, inom va-hanteringen, i huvudsak använts för värmeåtervinning i avloppswerk. Ett tjugotal sådana anläggningar är hittills i drift eller under planering, se "Värme ur avloppsvatten" (1981). Med hänsyn till tillgång till avnämare för utvunnen värme skulle det dock kunna vara intressant att även utvinna värme utmed ledningsnätet. Detta har emellertid hittills endast skett i begränsad omfattning.

6.2 Teoretisk analys

6.2.1 Omsättning av värme vid renvattenproduktionen

Värmeflödet och dess variationer under året i ett vattenverk beror i första hand på typ av råvattentäkt samt geografiskt läge.

Vid grundvattentäkter är vattentemperaturen relativt konstant under året, ca 8°C i södra Sverige och ca 2°C i nordligaste delen av landet.

Vid ytvattentäkter kan temperaturen variera betydligt under året. Hur stora variationerna blir beror på råvattentäktens karakteristika (rinnande vattendrag, sjö, storlek, djupförhållanden, geografiskt läge). Allmänt eftersträvas en jämn och låg temperatur och intaget förläggs därför helst ej alltför ytligt. Temperaturaspekten är dock ej ensamt styrande vid utformning av intag utan vattenkvalitet med hänsyn till reningsprocessen och teknisk utförbarhet spelar också in. Temperaturvariationer från nära 0°C på vintern till 15-20°C på sommaren är därför ej onormala.

Anläggningar med konstgjord infiltration av grundvatten utgör ett mellanting mellan yt- och grundvattentäkter, där temperaturen i det uttagna råvattnet beror på andelen infiltrationsvatten och när detta tillförs. Hitills har driften av infiltrationsanläggningar ej alls styrts med hänsyn till energiaspekter.

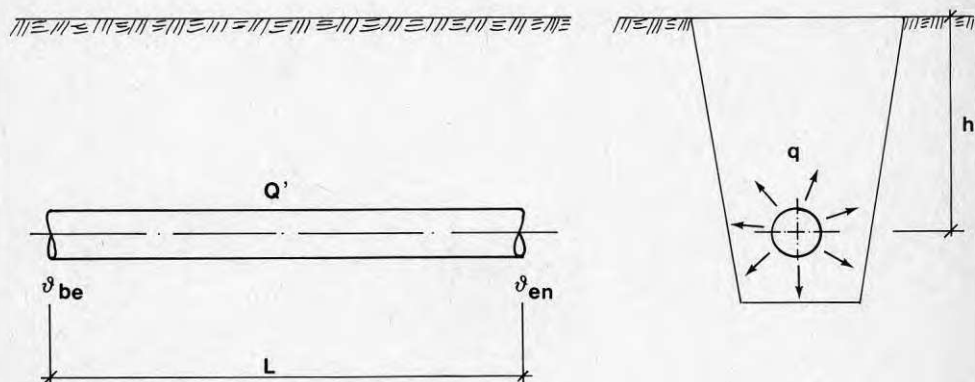
I samband med utveckling av teknik för värmelagring i grundvatten har teori för beskrivning av värmespridning i grundvatten tagits fram, se VBB (1981) och värmesättningen i ett grundvattenmagasin kan i princip beräknas. Styrning av en infiltrationsanläggning på ett sådant sätt att det uttagna grundvattnets temperatur maximeras bör märkbart kunna påverka energisättningen. En ökning av temperaturen med i genomsnitt 1°C under året innebär t ex för en anläggning av Kumlas storlek (100 l/s) en total ökning av renvattnets energiinnehåll av ca $13 \cdot 10^6$ MJ/år ($3,7 \cdot 10^6$ kWh/år). Det bör också noteras att det grundvattenmagasin som är förknippat med en infiltrationsanläggning naturligen ger en långtidslagring av värme som kan avpassas så att värme lagras från sommar till vinterhalvåret.

6.2.2 Omsättning av värme i vattendistributionsnätet

Grundläggande ekvationer

Värmeenergisättningen i ett vattendistributionsnät, dvs värmeutbytet mellan det framströmmande vattnet och omgivande mark, kan studeras med hjälp av den teori som utvecklats för beräkning av erforderligt läggningsdjup för va-ledningar i jord med hänsyn till tjäle, se Janson (1963), (1968), (1969) och (1979).

Den temperaturdifferens, $\Delta \vartheta$, som styr värmeströmningen till och från röret på sträckan L vid inloppstemperaturen ϑ_{be} och utloppstemperaturen ϑ_{en} och omgivningstemperaturen ϑ_{hi} i jorden på långt avstånd från röret, se Figur 6.1 uttrycks som den logaritmitska medeltemperaturdifferensen $[\Delta \vartheta]_{ln}$, som kan tecknas:



Figur 6.1 Definitionensfigur för värmeomsättningsberäkningar i vattenledningsnät.

$$[\Delta \vartheta]_{\ln} = \frac{(\vartheta_{be} - \vartheta_h) - (\vartheta_{en} - \vartheta_h)}{\ln \frac{\vartheta_{be} - \vartheta_h}{\vartheta_{en} - \vartheta_h}} \quad (6.1)$$

Värmeströmningen till och från röret kan uttryckas:

$$q_1 = \frac{2\pi \cdot \lambda}{\ln [2h/r_u]} \cdot [\Delta \vartheta]_{\ln} \quad (6.2)$$

där λ = värmeledningstalet för jordarten

h = rörets läggningsdjup

r_u = rörets utvändiga radie

Värmeutbytet per lägenhet av röret kan uttryckas:

$$q_2 = \gamma \cdot Q' \cdot C \frac{\vartheta_{be} - \vartheta_{en}}{L} \quad (6.3)$$

där γ = vattnets densitet

Q' = vattenflöde

C = vattnets specifika värme

I det stationära fallet är $q_1 = q_2$ vilket efter förenkling ger

$$\frac{\vartheta_{be} - \vartheta_h}{\vartheta_{en} - \vartheta_h} = \exp \left(\frac{2\pi \lambda L}{\gamma Q' C \ln [2h/r_u]} \right) \quad (6.4)$$

$$\text{Sätt } \vartheta_{be} - \vartheta_h = \Delta \vartheta_{beh} \quad (6.5)$$

$$\vartheta_{be} - \vartheta_{en} = \Delta \vartheta_{ben} \quad (6.6)$$

Ekvation (6.4) kan nu skrivas

$$\frac{\Delta \vartheta_{beh}}{\Delta \vartheta_{beh} - \Delta \vartheta_{ben}} = A \quad (6.7)$$

$$\text{där } A = \exp \left(\frac{2\pi \cdot \lambda \cdot L}{\gamma \cdot Q' \cdot C \ln [2h/r_u]} \right) \quad (6.8)$$

Ekvation (6.7) kan transformeras till

$$\Delta \vartheta_{ben} = \frac{A - 1}{A} \Delta \vartheta_{beh} \quad (6.9)$$

Ekvation (6.3) kan nu uttryckas:

$$q_2 = \frac{\gamma \cdot Q' \cdot C}{L} \cdot \frac{A - 1}{A} \Delta \vartheta_{beh} \quad (6.10)$$

Ekvationerna (6.9) och (6.10) kan nu användas för att beräkna effektförlusten till marken och temperaturfall-
et utmed en ledningssträcka då förhållandena i övrigt
är kända. Den beräkningsmodell som dessa ekvationer
utgör har använts för analysen i det följande.

Beräkningsexempel

I syfte att belysa användningen av de ovan härledda
ekvationerna samt att illustrera hur temperaturförhållan-
dena kan variera i ett vattendistributionssystem redovi-
sas nedan två schematiska beräkningsexempel. I ett
tredje exempel redovisas en tillämpning av beräkningsme-
toden på ledningsnätet i Kumla samt en jämförelse mellan
beräkningsresultaten och värden uppmätta i ledningsnä-
tet.

Exempel 1 - Raksträcka: I detta exempel studeras en
lång sträcka sammansatt av sex delsträckor med data
enligt Tabell 6.1.

Delsträcka nr	Längd, m	Utvändig radie, mm	Flöde, l/s	
			normal	extrem
1	2 300	125	55	20
2	1 000	75	14	5
3	600	50	4,5	1,8
4	500	50	1,8	0,09
5	100	25	0,09	$4,4 \cdot 10^{-3}$
6	20(100)*16		0,026	$4,4 \cdot 10^{-4}$

* I extremfallet har delsträcka 6 antagits ha längden
100 m.

Tabell 6.1 Ledningsnätsdata - exempel 1

Delsträckorna 1-3 i exemplet representerar huvudlednings-
nätet, delsträckorna 4 och 5 representerar gemensamma led-
ningar i ett delområde och delsträcka 6 representerar ser-
visledning in till en villafastighet.

Beräkningar har genomförts dels för ett normalfall, dels
för ett extremfall. Normalfallet motsvarar medelflödet
under dygnet i ledningsnätet medan extremfallet motsvarar
nattpumpning (i servisledningar läckage motsvarande 5 %
av medelförbrukningen). I extremfallet har vidare servisled-
ningen till huset förlängts från 20 till 100 m.

I beräkningarna har vidare jordartens värmeledningstal
antagits vara 1,8 W/m.K och ledningens läggningsdjup 1,8 m.

Beräkningarna har genomförts dels för en jordtemperatur
på ledningens nivå av 0°C dels vid jordtemperaturen
-2°C. Temperaturen hos det tillförda vattnet har anta-
gits vara +2, +4 resp +6°C.

Beräkningsresultaten redovisas i Figur 6.2 (normalfallet) och 6.3 (extremfallet) samt i Tabell 6.2 och 6.3.

Delsträcka nr	Jordtemperatur					
	0°C			-2°C		
	Inloppstemperatur +2°C	+4°C	+6°C	Inloppstemperatur +2°C	+4°C	+6°C
1	6,6	13,2	19,9	13,2	19,9	26,5
2	5,5	11,0	16,5	11,0	16,5	22,0
3	4,7	9,3	14,0	9,3	14,0	18,7
4	4,1	8,2	12,3	8,2	12,3	16,4
5	2,4	4,9	7,3	4,9	7,3	9,7
6	1,3	2,7	4,0	2,7	4,0	5,4

Tabell 6.2 Värmeförlust från ledning till omgivande mark, W/m ledning i normalfallet

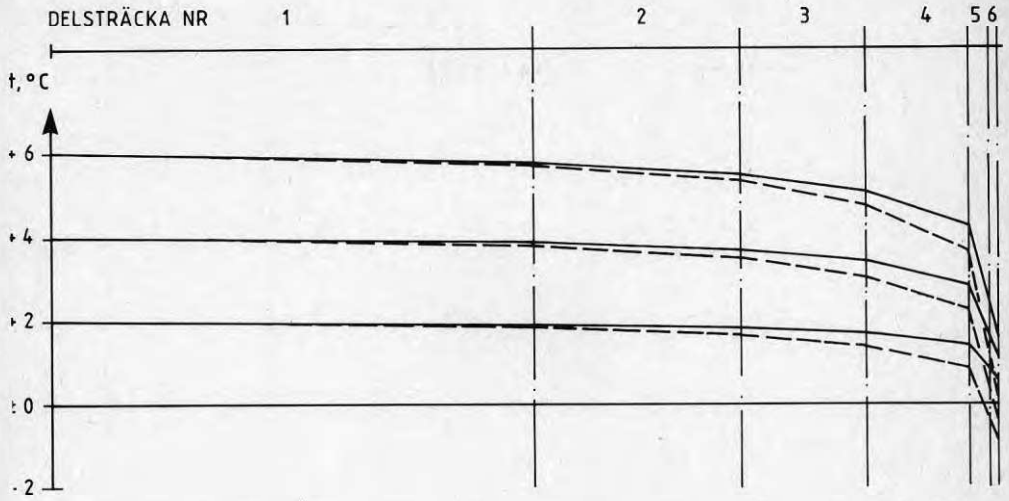
Delsträcka nr	Jordtemperatur					
	0°C			-2°C		
	Inloppstemperatur +2°C	+4°C	+6°C	Inloppstemperatur +2°C	+4°C	+6°C
1	6,4	12,9	19,3	12,9	19,3	25,7
2	5,0	9,9	14,9	9,9	14,9	19,9
3	3,8	7,6	11,3	7,6	11,3	15,1
4	0,9	1,9	2,8	1,9	2,8	3,8
5	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Tabell 6.3 Värmeförlust från ledning till omgivande mark, W/m ledning, i extremfallet

Beräkningarna visar att i normalfallet sjunker vattentemperaturen med 0,3-0,9K i huvudledningsnätet och med ytterligare 1,2-3,5K i de klenare ledningarna då marktemperaturen är 0°C. Vid marktemperaturen -2°C sjunker vattnets temperatur mer, med 0,6-1,2K i huvudledningsnätet och med ytterligare 1,4-4,7K i de klenare ledningarna. Vid marktemperaturen -2°C kommer frysning att ske vid inloppstemperaturen +2°C och +4°C.

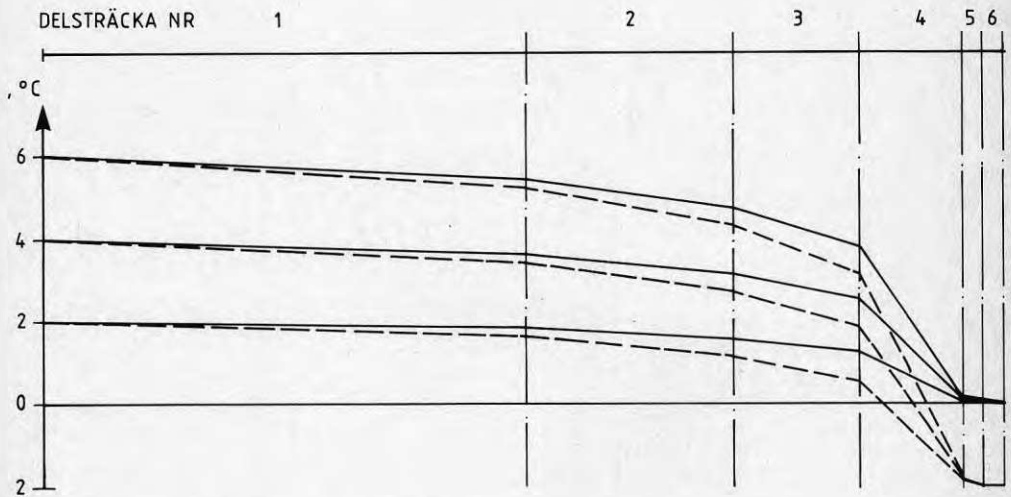
I extremfallet (motsvarande nattförbrukning) sker temperaturfallet snabbare. I huvudledningsnätet sjunker temperaturen med 0,7-2,1K och i de klenare ledningarna med ytterligare 1,3-3,9K vid marktemperaturen 0°C. Vid marktemperaturen -2°C kommer frysning att ske vid samtliga inloppstemperaturer. I huvudledningsnätet sjunker temperaturen med 1,4-2,8K i detta fall.

Värmeförlusten varierar i normalfallet mellan 26,5 och 1,3 W/m ledning och i extremfallet mellan 25,7 och <0,01 W/m ledning. Värmeförlusten är, vid i övrigt



Figur 6.2 Temperaturfall i vattenledningsnätet - normalfallet

— MARKENS TEMPERATUR = 0°C
 - - - MARKENS TEMPERATUR = -2°C



Figur 6.3 Temperaturfall i vattenledningsnätet - extremfallet

oförändrade förhållanden, direkt proportionell mot medeltemperaturdifferensen mellan vattnet och omgivande mark, se även ekv (6.2).

Exempel 2 - Nattpumpning: I detta exempel betraktas nattpumpning från vattenverk till högreservoar i ett tänkt vattenledningsnät då renvattnets inloppstemperatur är +8°C. Ledningsnätets utsträckning framgår av Figur 6.4 och Tabell 6.4. Jordartens värmeledningstal och ledningens lägningsdjup är desamma som i föregående exempel. Jordens temperatur på ledningens nivå antas vara -2°C.

Delsträcka nr	Längd m	Utvändig radie, mm	Flöde l/s
1	1000	125	20
2 och 8	1800	75	10
3 och 9	1000	75	9
4 och 10	500	50	0,3
5 och 11	1000	75	9
6 och 12	1800	75	9
7	1000	125	18

Tabell 6.4 Ledningsnätetsdata - exempel 2

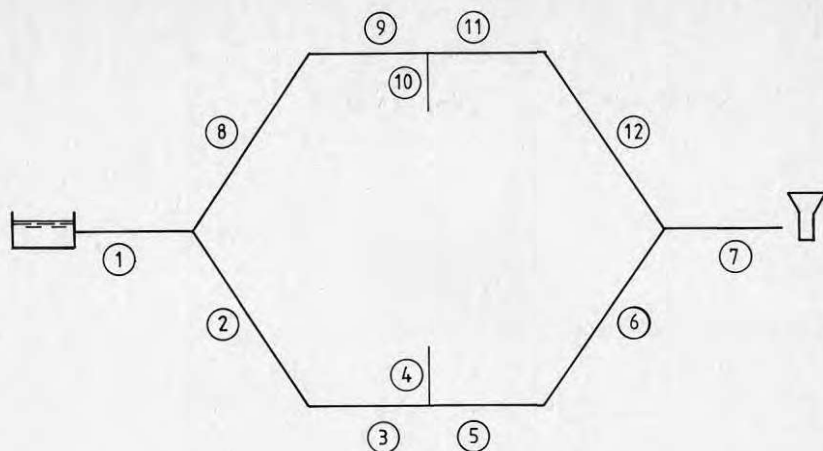
Beräkningsresultatet har redovisats med hjälp av isoterm-er i Figur 6.5.

Beräkningsmetoden och redovisnings sättet synes vara lämpliga för översiktliga bedömningar av frysrisker och möjligheter till värmeuttag i ett samhälles vattenledningsnät. Beräkningsresultaten kommenteras ytterligare nedan.

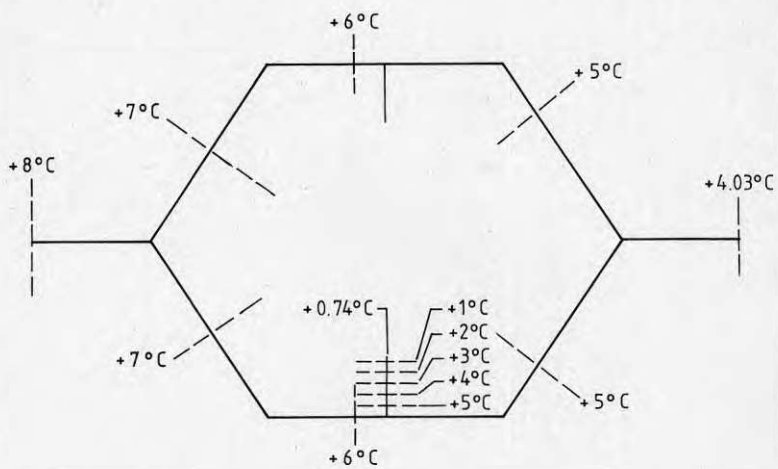
Exempel 3 - Kumla: I detta exempel har gjorts en kontrollberäkning och jämförelse med uppmätta renvattentemperaturer i Kumla. Ledningsnätet har förenklats som framgår av Figur 6.6 Använda data angående ledningsnätet redovisas i Tabell 6.5.

Delsträcka nr	Längd m	Utvändig radie, mm	Flöde l/s
1	1760	125	25
2	640	100	12,5
3	960	75	12,5
4	320	100	5
5	2160	150	14
6	400	75	10
7	880	75	5
8	50	16	0,2
9	400	75	1
10	250	75	0,5

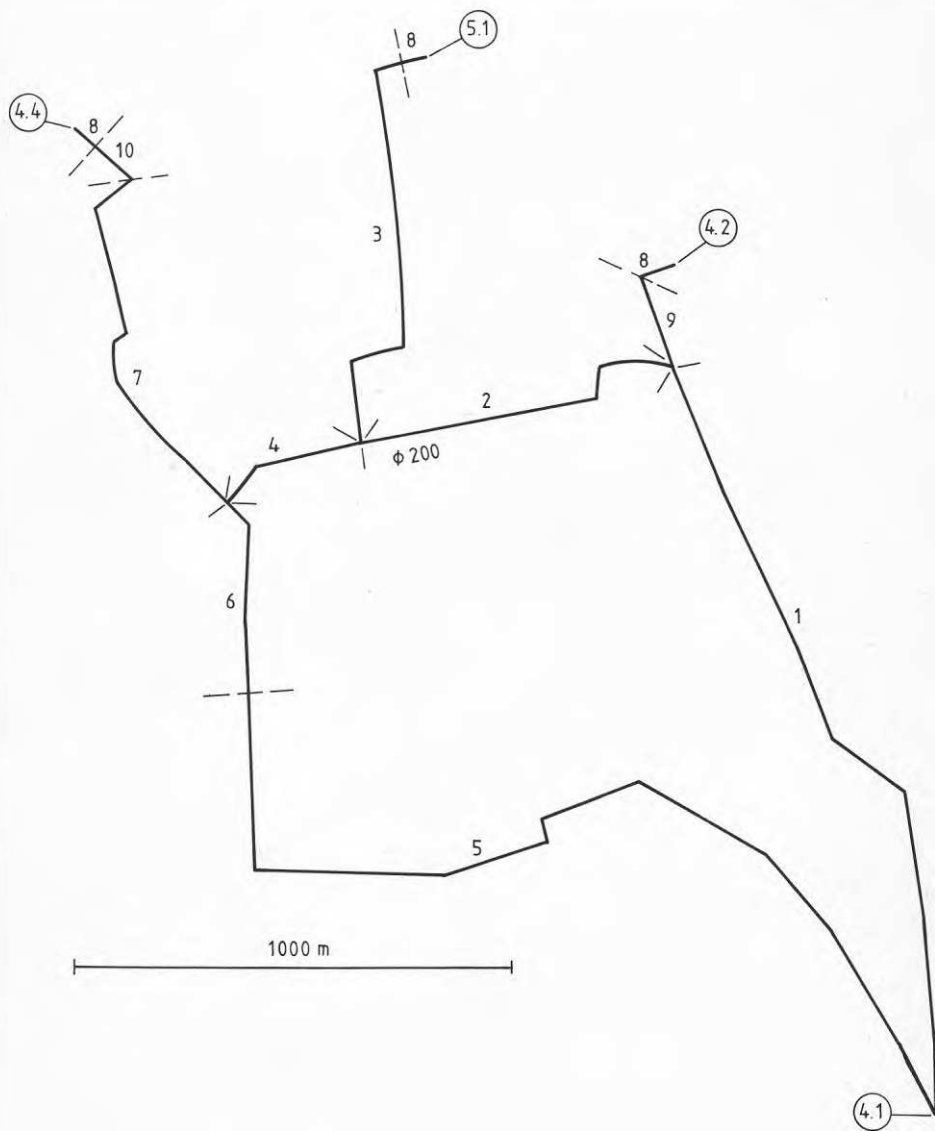
Tabell 6.5 Ledningsnätetsdata - exempel Kumla



Figur 6.4 Ledningsnätets beteckningar -
exempel 2



Figur 6.5 Beräkningsresultat - exempel 2



Figur 6.6 Vattenledningsnät - Kumla, principalskiss och beteckningar

Beräkningarna baseras på dygnsmedelflöden och beräkningsresultaten har jämförts med uppmätta värden under mätperiod 1 (15-16 april 1980). Jordens temperatur på ledningens nivå antas vara 0°C. Värmeledningstal och läggningsdjup är desamma som i föregående två exempel.

Beräkningsresultaten redovisas i Tabell 6.6. Resultaten kommenteras nedan.

Mätpunkt	Uppmätt temperatur, °C	Beräknad temperatur, °C
4:1 (Vattenverk)	8,5	8,5 (=uppmätt)
4:2 (Avloppsverk)	5,2	5,4
4:4 (SRA)	2,2	4,0
5:1 (Uppgårdsvägen)	4,7	6,3

Tabell 6.6 Renvattentemperatur - beräknade och uppmätta värden i Kumla

Kommentarer till beräkningsexempel

Beräkningsexemplen visar att temperaturfallet är relativt långsamt i huvudledningsnätet och snabbare i de klenare ledningarna. Temperaturkurvorna för de olika inloppstemperaturerna närmar sig också varandra alltmer ju längre ut i ledningsnätet vattnet befinner sig. Av en temperaturhöjning på 2K i vattenverket i exempel 1 återstår endast högst 0,5-0,6K hos konsumenten.

Eftersom uppvärmning av varmvatten hos konsumenten kräver mycket energi har möjligheterna att minska energiförbrukningen genom att finna ett råvatten med högre temperatur diskuterats. Detta skulle exempelvis kunna åstadkommas med varierande intagsnivåer i en ytvattentäkt eller genom att infiltrera vatten sommartid till en grundvattentäkt, se Hjort (1978) och Ullmann (1979).

Beräkningsexempel 1 visar dock att en sådan temperaturhöjning endast i liten utsträckning kan utnyttjas hos konsumenten.

Möjligheterna att utnyttja vattenledningsvattnet som värmekälla för värmepumpar har diskuterats. En värmepumpinstallation bör placeras på en plats där man har ett kontinuerligt stort flöde och där temperaturen ej hunnit sjunka alltför mycket i förhållande till inloppstemperaturen. Dessa villkor uppfylls ofta i vattenverket och utmed vissa större huvudledningar.

Om en sådan anläggning i beräkningsexempel 1 sänker vattnets temperatur i vattenverket med 2K sjunker på motsvarande sätt temperaturen hos konsumenten med ca 0,5K. Värmeuttaget vid vattenverket får således en begränsad effekt för konsumenten med hänsyn till varmvattenberedning och nettoutbytet av värmeuttaget vid vattenverket blir betydande. En sänkning av vattentemperaturen innebär emellertid alltid en ökad frysrisk i ledningssystemet och en anläggning bör ej komma till stånd utan en noggrann analys av dess konsekvenser. Många serviser ligger ej absolut frostfritt och i ett

system där redan tidigare frysproblem förekommit lokalt kommer givetvis en värmeutvinning ur vattenledningsvattnet att skapa ytterligare frysproblem. Beräkningsresultaten visar klart betydelsen av att klenare ledningar och serviser förläggs frostfritt eller frostskyddat för undvikande av frysproblem. Betydelsen härav är relativt sett mindre när det gäller huvudledningarna.

I beräkningarna har hänsyn ej tagits till värmertilskott på grund av vattnets friktion mot rörväggen, se Janson (1977). Erforderlig teoretisk effekt för pumpning kan beräknas enligt

$$P = g \cdot \rho \cdot Q \cdot I \quad (6.11)$$

vilket ger 0,7 W/m ledning vid $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $Q = 14 \text{ l/s}$ och $I = 5 \text{ }^\circ\text{C}/100$. Värmeförlusten enligt tabell 6.2 och 6.3 uppgår till ca 5-20 W/m ledning beroende på inloppstemperaturen. Friktionsvärmeförlusten har således relativt liten betydelse i sammanhanget.

I Figur 6.2 och 6.3 anges att vattentemperaturen sjunker rätlinjigt även vid temperaturer lägre än 0°C . I verkligheten kommer detta ej att ske. I samband med att vattnet i ledningen samt omgivande mark börjar frysa ändras förutsättningarna för fortsatt nedkyllning. Dels frigörs energi vid själva frysningen, det så kallade isbildningsvärmeförlusten, dels bildar iskorpan på insidan av rören ett isolerande skikt. Dessutom ändras markens värmeledningstal i samband med frysningen. Eftersom det är temperatursänkningen ned till fryspunkten som i första hand är av intresse så har emellertid dessa avvikelser mindre betydelse för beräkningsmetodens praktiska användning.

Beräkningarna på ledningsnätet i Kumla - exempel 3 visar högre vattentemperatur i mätpunkterna jämfört med vad som uppmätts, framför allt i punkterna 4:2 och 5:1. Detta beror troligen på att flödena i de aktuella ledningarna överskattats något. I verkligheten fördelar sig vattnet på många fler ledningar och de verkliga flödena genom beräkningssträckorna kan då bli lägre än vad som här antagits. En halvering av flödena medför att temperaturförlusten på sträckan i det närmaste fördubblas. Viss osäkerhet ligger även i andra beräkningsantaganden, t ex om konstant läggningsdjup respektive värmeledningstal för jorden. Genom en noggrann kalibrering mot mätdata bör beräkningsmetodens tillförlitlighet bli acceptabel.

6.2.3 Omsättning av värme hos konsumenten

Den totala vattenförbrukningen i Sverige (avseende vatten från kommunala vattenverk) anges av VAV (1975b) uppgå till knappt $1\,000 \text{ Mm}^3/\text{år}$, och är fördelat på olika användningsområden på det sätt som anges i Tabell 6.7:

Användningsområde	M(m ³)/år	l/pd	%
Hushållsförbrukning	520	210	55
Industrieförbrukning	170	68	18
Allmän förbrukning	113	46	12
Verkens egen förbrukning	38	15	4
Förluster	104	42	11
Summa	945	381	100

Tabell 6.7 Vatten från kommunala vattenverk, uppdelat på olika användningsområden. Ungefärliga årsmedelvärden för riket under perioden 1960-70

Hushållsförbrukningen fördelar sig på det sätt som anges i Tabell 6.8:

Användningsområde	l/pd	°C
Personlig hygien	70	30
WC-spolning	40	10
Textiltvätt	30	60
Disk	40	50
Mat och dryck	10	20
Övrigt	25	20
Summa	215	Medel 30-35

Tabell 6.8 Hushållsförbrukningens fördelning på olika användningsområden i svenskt medelhushåll med modern standard år 1974

I Tabell 6.8 är den temperatur som avloppsvattnet från olika användningsområden kan antas ha då det lämnar konsumenten angiven. Temperaturen varierar naturligtvis från olika hushåll men de angivna värdena kan antas vara genomsnittsvärden.

Vattenförbrukningen inom industri kan uppdelas i processvatten, kylvatten, skölj- och spolvatten samt vatten för sanitära ändamål. Någon närmare utredning av industrins vattenförsörjning från kommunalt ledningsnät finns inte. I detta arbete antas fortsättningsvis att avloppsvatten från industri har en medeltemperatur av +25°C.

Den allmänna förbrukningen utgörs av förbrukning i sjukhus, affärer, skolor, restauranger, kontor etc. Den genomsnittliga temperaturen på avloppsvattnet från

dessa anläggningar antas vara densamma som för hushållsförbrukningen.

Vattenverkens egen förbrukning utgörs i huvudsak av vatten för spolning av filter. Detta vatten värms ej upp och antas ha en temperatur av +10°C.

Med de antaganden som gjorts ovan kan den genomsnittliga temperaturen hos det avloppsvatten som släpps ut i ledningsnätet beräknas till +30°C.

De ovan angivna temperaturvärdena förutsätter att ingen återvinning av värme ur avloppsvattnet görs inom fastigheterna. För närvarande utvecklas dock teknik, värmväxlare, värmepumpar etc, för att utnyttja värmets i avloppsvattnet nära konsumenten.

6.2.4 Omsättning av värme i ett avloppsledningsnät

Beräkningsmetoder

Värmeinnehållet i det avloppsvatten som tillförs ledningssystemet från ett normalt hushåll uppgår enligt föregående avsnitt till i storleksordningen ca 30 MJ/p.d, (ca 8 kWh/p.d), räknat vid vattenförbrukningen 215 l/p.d, avloppsvattentemperaturen 30°C och en temperatursänkning till 0°C.

Avloppsvattnets temperatur vid reningsverkets inlopp varierar med årstid, geografisk placering, typ av avloppsvatten m m, se Figur 3.1-3-8. Temperaturen på vattnet har sjunkit avsevärt under transporten från konsument till avloppsverk, jfr figur 3.9. Förloppet av detta temperaturfall kan teoretiskt analyseras enligt följande.

Temperaturförändringar hos avloppsvattnet orsakas dels av utspädning med inläckande vatten och blandning med annat avloppsvatten dels av värmeutbyte med omgivande luft och mark.

Temperaturförändringen vid inläckage och blandning beräknas enkelt med uttrycket

$$Q_a \cdot T_a + Q_b \cdot T_b = Q_{a+b} \cdot T_{a+b} \quad (6.12)$$

där Q betecknar flöde, T betecknar temperatur och a resp b betecknar olika delströmmar.

Värmeavgivningen från avloppsvattnet till omgivningen i en delvis fylld ledning bestäms av samspelet mellan värmeavgivningen från vattnet direkt till jorden och från vattnet till luften i ledningen samt denna luftsvärmeutbyte med jorden och med uteluften genom ventilation via brunnar.

För värmeavgivningen från vattnet till jorden kan approximativt de formler som angivits i avsnitt 6.2.2 användas, dock med beaktande av att denna värmeavgivning sker på en begränsad del av ledningens omkrets.

Värmeavgivningen från vattnet till luften i ledningen orsakas av avdunstning och konvektion och påverkas av många faktorer. Värmeavgivningen kan beräknas med följande uttryck

$$S_1 + S_2 = 12,64 \sqrt{V+0,3} (f_0 - f) + 5,8 \sqrt{V+0,3} (t_w - t_1) \quad (6.13)$$

där $S_1 + S_2$ = värmeförlusten av avdunstning resp konvektion i W/m^2

V = vindhastighet i m/s

f_0 = den mättade vattenångans tryck vid vattentans temperatur, mm Hg

f = luftens aktuella ångtryck, mm Hg

t_w = vattnets temperatur, °C

t_1 = luftens temperatur, °C

För normala värden på ingående storheter erhålls ett värmeövergångstal av ca $20 W/m^2K$, vilket värde använts i beräkningarna i det följande.

Till luften avgiven värme förs vidare dels genom ventilationseffekter och dels genom avgivning till omgivande jord. Den genom ventilation bortförda värmemängden uttryckt i W mellan två brunnar kan beräknas ur uttrycket

$$E_{vent} = A \cdot V \cdot 1300 \cdot \Delta t \quad (6.14)$$

där A = arean hos den luftfyllda delen av röret, m^2

V = lufthastighet, m/s

1300 = luftens värmekapacitet, J/m^3K

Δt = luftens temperaturhöjning i ledningen.

Värmeavgivningen från luften till omgivande jord kan i princip beräknas med formlerna i avsnitt 6.2.2 dock med beaktande av ett värmeövergångsmotstånd vid rörväggen som kan beskrivas med ett värmeövergångstal av i storleksordningen $5 W/m^2K$, vilket värde använts i följande beräkningar.

För att belysa värmeomsättningen i en delvis fylld avloppsledning redovisas nedan ett antal beräkningsexempel.

Exempel 1. Huvudavloppsledning \varnothing 225 mm, fyllnadshöjd 50 %, vattenhastighet 2 m/s (40 l/s). Övriga data enligt följande:

- Längd: 50 m (rimligt avstånd mellan två brunnar)
- Vattentemperatur: +10°C
- Temp hos uteluft och mark: + 0°C
- Markens värmeledningstal: 1,8 W/mK
- Läggningsdjup: 1,8 m
- Lufthastighet i ledningen: 3 m/s

Beräkningarna visar att lufttemperaturen i ledningen höjs från + 0°C vid inloppet till ett slutvärde av 8-8,5°C efter ca 20 m. Om ledningen varit helt fylld hade värmeförlusten till jorden på 50 m ledningssträcka varit 1 600 W. Med till hälften fylld ledning blir

värmeavgivningen från vatten till jord ca 800 W, från luft till jord ca 260 W och till ventilationsluften ca 660 W, dvs totalt något mer än för den helt vattenfyllda ledningen. Vattnets temperatursänkning på 50 m ledningssträcka blir ca 0,01K.

Exempel 2. Lokalledning \varnothing 100 mm, fyllnadshöjd 25 %, vattenhastighet 0,5 m/s (0,7 l/s), vattentemperatur +20°C. I övrigt data enligt exempel 1.

Beräkningarna visar att lufttemperaturen i ledningen höjs från + 0°C vid inloppet till ett slutvärde av ca 14°C efter 10 m. Med helt vattenfylld ledning hade värmeförlusten till jorden på 50 m ledningssträcka blivit 2 350 W. I detta fall blir värmeavgivningen från vatten till jord ca 800 W, från luft till jord ca 360 W och till ventilationsluften också ca 360 W, dvs totalt ca 65 % av den värmeavgivning som uppstår om ledningen varit helt fylld med vatten. Vattnets temperatursänkning på 50 m ledningssträcka blir ca 0,9K.

Exempel 3. Tom dagvattenledning \varnothing 500 mm, lufthastighet 1 m/s, utelufttemp -5°C. I övrigt data enligt ovan.

Beräkningar visar att ledningen har en kyleffekt av ca 15 W/m vid 50 m avstånd mellan ventilerande brunnar.

Kommentarer till beräkningsexemplen

Beräkningarna visar att värmeförlusterna från delvis fyllda avloppsledningar är av samma storleksordning som om ledningarna vore helt fyllda. I ledningar med mindre dimensioner är förlusterna så stora att de höga avloppsvattentemperaturerna hos konsumenterna snabbt går förlorade. Förlusterna sker från vatten till jord, från luft till jord och genom ventilation. (Ventilations-effekten i spillvattenledningen kan reduceras med vattenlås och isolering i brunnar.) Samtliga tre faktorer måste tas i beaktande. Beräkningsresultaten beträffande värmeförluster bekräftas av gjorda observationer i ledningsnätet i Kumla.

Beräkningarna visar också att stora dagvattenledningar kan ha en ej försumbar kyleffekt på omgivande mark, under förutsättning att de står torra under längre tid. Även små vattenmängder är dock tillräckliga för att eliminera denna kyleffekt eftersom värmeavgivning från en vattenyta till luft sker betydligt lättare än från en torr rörvägg till luft och varmet således då i stället tas från vattnet. Frysrisker för närliggande små vattenledningar har behandlats av Janson (1969). Effekterna av kylande dagvattenledningar i enskilda fall bör kunna bedömas med tillräcklig noggrannhet med här redovisad teori.

6.3 Möjliga sätt att påverka värmeenergiomsättning- en och deras konsekvenser

6.3.1 Renvattenproduktion och distribution

Möjligheterna att påverka värmeenergiomsättningen vid renvattenproduktion beror på typ av råvattentäkt. Vid en ytvattentäkt kan årstidsvariationer ej undvikas och endast vid djupa sjöar kan man räkna med en minimitemperatur på vintern som ej understiger +4°C. Den höga sommartemperaturen som kan uppnås är av tekniska och ekonomiska skäl mindre intressant för uppvärmningsändamål om möjligheter till säsongslagring ej föreligger. Värmeutvinning ur ytvatten är ej särskilt förknipat med kommunal va-hantering. Möjligheterna har studerats i många andra sammanhang och berörs därför ej vidare här.

Vid grundvattentäkter och infiltrationsanläggningar innebär de grundvattenförande marklagren en möjlighet till säsongslagring av värme. Utan särskilda åtgärder erhålls således året runt ett vatten som håller ortens årsmedeltemperatur eller mera och med en medveten styrning av vattentakten eller avsiktlig laddning av grundvattenmagasinet med värme sommartid (med solfångare eller värmeväxling från varmt ytvatten) kan råvattnets energiinnehåll ökas. En höjning av vattentemperaturen vid landets grundvattentäkter (naturligt och infiltrerat grundvatten) med 2°C skulle innebära en ökad energiomsättning motsvarande 1,1 TWh/år. Vad som gör de kommunala vattentäkterna intressanta ur energisynpunkt är att de tekniska anordningar som behövs för säsongslagring av värme delvis redan finns samt att de ofta ligger lämpligt i förhållande till bebyggelsen för ett utnyttjande.

Ett ökat energiinnehåll skulle kunna tillgodogöras antingen genom en minskad energitillförsel vid varmvattenberedning eller genom uttag av värme med värmepump vid vattenverket eller i distributionsnätet.

Om värmen ej uttas före vattenverket kan reningsprocessen komma att påverkas. Upp till de temperaturnivåer som här kan bli aktuella bör denna påverkan vara positiv bl a i form av minskad kemikalieförbrukning. Om värmet ej tas ut innan vattnet leds in i distributionsnätet bör temperaturen ej överstiga +15°C eftersom besvärande organisk tillväxt annars kan uppstå, Ullman (1979).

Beräkningarna av energiomsättningen i vattenledningsnätet i avsnitt 6.2 visar att en temperaturhöjning vid vattenverket till stor del går förlorad innan den når konsumenterna, speciellt i servisledningarna. Den del av värmeinnehållet i renvattnet som ej behövs för att undvika frysning i ledningsnätet ger således det största nettoutbytet om det tas ut så nära vattenverket som möjligt. Utöver det ökade energiinnehåll som kan skapas genom speciella åtgärder vid råvattentakten kan det således vara intressant att sänka vattentempera-

turen i distributionsnätet jämfört med nuvarande förhållanden. Det stora energiutbyte som kan uppnås kan även göra det intressant att åtgärda lokala fryskänsliga punkter på ledningsnätet, alternativt endast minska värmeuttaget under den mest fryskänsliga perioden mot slutet av vintern i en omfattning som bedöms år från år.

Slutligen bör påpekas att en sänkning av renvattentemperaturen påverkar temperaturen hos avloppsvattnet endast i obetydlig utsträckning pga det energitillskott som sker vid varmvattenberedning och att några konsekvenser av denna nedströms konsumenten ej behöver beaktas.

6.3.2 Konsumention och avloppsuppsamling

Den största energiinsatsen i den kommunala va-hantering- en görs vid varmvattenberedningen hos konsumenterna, enligt uppskattningarna i avsnitt 6.2.3 i storleksordningen 5 000-7 000 MJ/p.år (1 500-2 000 kWh/p.år).

Möjligheter finns till energibesparingar genom åtgärder på VVS-installationerna hos konsumenten eller genom ändring av förbrukningsmönstret. Dessa åtgärder är av traditionell karaktär och i de flesta fall väl kända. Flera andra åtgärder som ännu befinner sig på utvecklingsstadiet studeras inom ramen för pågående eller avslutade FOU-projekt, bl a i BFRS regi. Ett antal sådana projekt redovisas av Janson m fl (1979). Fler- talet av dessa projekt är inriktade mot att utnyttja alternativa värmekällor, t ex värmepump, solfångare etc. Utnyttjande av alternativa värmekällor förändrar dock ej avloppsvattnets energiinnehåll och medför där- för ej några konsekvenser i senare led av va-systemet.

Värmeåtervinning ur avloppsvattnet utgör en stor potentiell energibesparingsmöjlighet. Kalkyler enligt de metoder som anvisas i avsnitt 6.2 och även de mätningar som genomförts i Kumla, se avsnitt 6.4, visar dock klart att värmeförlusterna är stora i avloppsledningar med små dimensioner, dels genom värmeavgivning till marken och dels genom ventilation. Dessutom sjunker temperaturen hos avloppsvattnet (utan att energiinnehål- let minskar) genom utspädning med inläckande vatten.

Utvinning ur avloppsvatten av den värmeenergi som till- förs vid varmvattenberedningen bör ur effektivitetssyn- punkt således ske så nära konsumenten som möjligt. Återvinning skulle exempelvis kunna tänkas ske inom fastigheterna genom förvärmning av varmvatten eller ventilationsluft via värmeväxlare eller genom utnyttjan- de i värmepump. Utveckling av sådan teknik pågår.

Av tekniska och ekonomiska skäl är det mindre troligt att sådan teknik kan få en stor tillämpning i små fas- tigheter, i existerande bebyggelse. Detta är i många fall ej heller önskvärt eftersom avloppsvärmet behövs för att eliminera frysriskerna i såväl vatten- som avlopps- serviserna. I nybebyggelse bör dock tekniken kunna få tillämpning.

I större fastigheter, säg 50 lägenheter och uppåt, bör utveckling av tekniken även för befintlig bebyggelse vara intressant, bl a därför att risken för frysning i va-serviserna där är försumbar.

Såsom beräkningar och mätningar visar förloras en stor del av avloppsvattnets energiinnehåll snabbt i början av avloppsnätet. Det kan ändå vara intressant att utvinna värme ur avloppsvattnet senare i nätet, t ex pga tillgång till ett större kontinuerligt flöde eller närhet till avnämare av värmen. Medan värmeåtervinning inom fastigheterna torde ha liten inverkan på temperaturen vid reningserket eftersom den återvunna värmen till största delen skulle förlorats till marken kan stora värmeuttag på en huvudavloppsledning före reningserket ha en viss inverkan på dettas funktion. Detta diskuteras i följande avsnitt.

6.3.3 Avloppsrening och recipient

Vid reningserken tillförs värme dels till avloppsvattnet i luftningsbassänger och genom mekanisk omrörning och dels till slammet genom uppvärmning vid slamstabilisering. I den mån anläggningarna är överbyggda kan också ske en värmeförsel från uppvärmda lokaler. I Tabell 2.1 har värmeenergitillförseln totalt angivits till 2 MJ/m^3 ($0,5 \text{ kWh/m}^3$) och är således relativt blygsam. För reningserkens driftekonomi kan värmeenergisparningar naturligtvis vara betydelsefulla. Sådana besparingar kan uppnås genom lämplig utformning av luftnings- och ventilationssystem samt genom noggrann styrning och optimering av driften med hänsyn till önskad reningseffekt.

Värmeinnehållet i avloppsvatten kan tillgodogöras genom uttag via värmepump. Flera skäl talar för att detta bör ske efter rening, exempelvis mindre driftproblem med värmepumparna förångare, möjligheter att tillgodogöra sig den värme som tillförs i reningserket och undvikande av påverkan på reningserprocessen.

Flera försök har gjorts att uppskatta de potentiella energiutvinningsmöjligheterna vid svenska avloppsreningserverk. Grafström (1981) anger den totala potentialen för verk större än 3 000 anslutna pe till $7,2-9,0 \cdot 10^9$ MJ/år (ca 2 TWh/år). En optimistisk bedömning med hänsyn till den totala teoretiska potentialen ger siffror av storleksordningen $35 \cdot 10^9$ MJ/år (10 TWh/år).

Om värmeuttag övervägs före reningserket (i avloppsnätet eller omedelbart före verket), t ex med hänsyn till avsättningsmöjligheter för värmen, kan risken för negativ påverkan på reningserprocessen pga sänkt avloppsvattentemperatur som tidigare nämnts behöva beaktas.

En sänkning av temperaturen påverkar dels vattnets fysikaliska egenskaper (densitet och viskositet) och dels livsbetingelserna för de organismer som utnyttjas i biologiska reningserprocesser.

En temperatursänkning från +10°C till +5°C medför att vattnets viskositet ökar med ca 16 %. Viskositetsökningen påverkar mekaniska reningssteg genom sänkt sedimentationshastighet och ökat strömningsmotstånd vid filtrering i proportion till viskositetsökningen. Kemiska reningssteg påverkas dessutom genom försämrade möjligheter för flockbildning.

En temperatursänkning från 10°C till 5°C medför teoretiskt en sänkning av reaktionshastigheten i en aktiv slamprocess med högst ca 10 % och i en biobädd med något mer.

Slamhanteringen behöver ej påverkas av en temperatursänkning i avloppsvattnet eftersom en något lägre bebyggelse-temperatur vid behov skulle kunna kompenseras i den begränsade volym som slammet utgör utan att nettoutbytet av värmeenergi nämnvärt skulle behöva försämrats.

I realiteten bortses från normalt från temperaturen som en styrande parameter vid dimensionering av reningsverk och utformning av driftinstruktioner. I de åtta va-anläggningar som redovisas i avsnitt 3.1 uppvisar avloppsvattnet normalt årstidsvariationer i temperaturen i intervallet 8-15°C och i extremfallen ännu mera. Kemikalietillsatser och reningsresultat uppvisar däremot ej något säsongsmönster som kan hänföras till temperaturvariationer. Variationer i mängd och sammansättning hos avloppsvattnet, driftpersonalens vana att handha reningsprocesserna, etc synes således vara mer utslagsgivande för avloppsreningens resultat och ekonomi än vattentemperaturen.

En sänkning av avloppsvattentemperaturen genom värmeuttag med värmepump före rening kan emellertid mot bakgrund av dagens erfarenhet bedömas få en ej försumbar negativ effekt i följande fall.

- i biologiska reningsprocesser om temperaturen sänks under ca +5°C
- i reningsanläggningar som drivs med ojämt resultat (bör kunna motverkas genom bättre driftstyrning och eliminering av stöbelastningar från industriavlopp)
- i anläggningar som normalt drivs på gränsen till överbelastning

I de flesta andra fall bör det således vara möjligt att utan märkbara negativa effekter för reningsprocessen utta värme från avloppsnätet före reningsverket.

Oavsett om värme uttas före eller efter reningsverket kommer recipienten att få motta ett kallare vatten än om värmeuttag ej sker. Den påverkan som detta kan ge upphov till torde dock knappast speciellt behöva beaktas eftersom den närzon runt avloppsutsläppet som kan tänkas påverkas av temperatursänkningen ändå är störd av utsläppet i sig. De minskade reaktionshastigheter för nedbrytningsprocesser och primärproduktion som en temperatursänkning här skulle kunna innebära bör ur recipientsynpunkt med hänsyn till närsaltbelastningen dessutom normalt vara gynnsamma.

6.4 Tillämpning i Kumla

6.4.1 Råvatten

Råvattnets temperatur i Tisaren varierade under 1980 mellan +2 - +21°C. Temperaturen var högre än +4°C endast under perioden slutet av april - slutet av oktober, dvs under icke-eldningssäsong. Temperaturen i Tisaren varierade i vertikalled med upp till ca 3K. Differensen var störst sommartid. Temperaturförändringarna hos råvattnet under transporten från Tisaren till vattenverket var små och endast undantagsvis större än 1K.

Observationerna i infiltrationsområdet och i grundvattenbrunnarna visade betydligt större temperaturskillnader. Vid mätningar i grundvattenrör konstaterades markanta temperaturssprång i vertikalled hos grundvattnet i åsen. Differenser om upp till 10K mellan nivåer med endast några meters höjdskillnad uppmättes. Observationsrörens "temperaturprofiler" var i allmänhet kraftigt årstidsberoende.

Tre av de sju använda grundvattenbrunnarna gav vatten som temperaturmässigt i stort sett var oberoende av årstid. Vattentemperaturen i övriga brunnar varierade mer eller mindre kraftigt, upp till ca 6K, mellan de tre genomförda mätningarna.

Vattentemperaturen mellan olika brunnar varierar och kan skilja upp till 6K vid ett och samma tillfälle.

Energiinnehållet i det uppfordrade grundvattnet räknat med 0°C som referenstemperatur var under 1979 39 MJ/m³ (10,8 kWh/m³) eller totalt under året 10⁸ MJ (27,5 GWh). Med en förbättrad kunskap om de hydrogeologiska förhållandena på infiltrationsplatsen och med en medveten styrning av anläggningen med strävan att maximera energiinnehållet speciellt under vinterhalvåret, bör det ej vara omöjligt att höja medeltemperaturen under året med 1K, innebärande en ökning av energiinnehållet med 3 GWh.

Med hänsyn till de temperaturopbservationer som gjorts i ledningsnätet i Kumla, se avsnitt 6.4.2, bör det vara möjligt att utan risk för frysning i vattenledningsnätet utvinna värmeenergi i storleksordningen 10 GWh/år ur renvattnet vid vattenverket.

6.4.2 Renvattendistribution

Renvattnets temperatur vid vattenverket varierar under året mellan ca +7-10°C. Årsmedelvärdet under 1980 var ca +8°C vilket kan jämföras med luftens årsmedeltemperatur som 1980 var +5,2°C (normalt +5,9°C). Det naturliga grundvattnets årsmedeltemperatur i detta område är ca +6,5°C. Differensen bör bero på att det infiltrerade ytvattnet har en högre årsmedeltemperatur än det naturliga grundvattnet. Temperaturen förändras under transporten i ledningsnätet. Förändringar på över 5K

förekommer. Temperaturen varierar också kraftigt i olika delar av nätet. Variationerna beror bl a av uppehållstid, rördimension, markslag och läggingsdjup. Vatten i lågt belastade ledningar förlagda i grus påverkas temperaturmässigt mer än exempelvis högt belastade ledningar i lerjordar, jfr även avsnitt 6.2, där teoretiska beräkningsmetoder jämförts med gjorda observationer i Kumla.

Om avsättningsmöjligheter för värme föreligger längs vattenledningsnätet kan en del av den energimängd som beräknats vara tillgänglig vid vattenverket i stället utnyttjas längs nätet. En del av vattnets övertemperatur har dock då gått förlorad till omgivande mark.

6.4.3 Konsumtion

Vid en renvattentemperatur om 10°C kan vattnets medeltemperatur efter användandet uppskattas till omkring 30°C, jfr avsnitt 6.2.2 vilket för Kumlaw del innebär ett energitillskott av ca $100 \cdot 10^6$ MJ/år (30 GWh/år). Redan under användandet påverkas vattnets temperatur. Exempelvis tappar ett badkarsvatten värme som tillgodos görs rumsluften motsvarande ca 3K under 30 minuters badande.

Mätning har visat att ett 37°C varmt vatten tappar ca 5K vid passage genom 1 m ledningar i bjälklag, 4 m ventilerad störtledning samt 8 m servisledning i mark. Lufttemperaturen i ledningen vid mätningen var 5,5 °C. Temperaturförlusten var störst i initialskedet och minskade sedan något.

Vid mätningar i punkt 5:2 jfr Figur 3.12, uppmättes oväntat stora bakgrundsflöden, sannolikt bestående av vatten från husdräneringar.

Följande uppgifter har uppmätts respektive framräknats:

Period	Renvatten (pkt 5:1)	Avloppsvatten (pkt 5:2)		Bakgr flöde		Spillv flöde	
	Temp °C	Mängd m ³ /d	Temp °C	Mängd m ³ /d	Temp °C	Mängd m ³ /d	Temp °C
April 1980	4,5-5,0	70	7,5	36	5,0	34	10,1
Juli 1980	13,8-14,5	52	14,5	22	12,9	30	15,7
Nov 1980	9,3-10,2	114	12,1	84	10,2	30	17,4

Renvattentemperaturen har vid samtliga mätningar uppmätts efter långvarig spolning vid tappställe och först då stabil temperatur uppnåtts.

Som synes har spillvattnet redan under transporten från fastigheten till mätpunkt 5:2, dvs vid passage genom servisledningar och ca 200 m uppsamlingsledningar, tappat 10-20 K av sin ursprungstemperatur (ca +30°C). Temperaturfallet är klart årstidsberoende.

Följande tabell visar beräknade energiförluster på sträckan fram till punkt 5:2 räknat per meter ledning som dygnsmedelvärden vid en ursprunglig spillvattentemperatur av 30°C.

Period	Temperaturförlust (K/m)	Energiförlust per volymenhet (Wh/m ³ , m)	Total energiförlust (W/m)
April 1980	0,048	55	162
Juli 1980	0,041	47	103
Nov 1980	0,016	19	91

Beräkningarna grundar sig bl a på temperaturer på bakgrundsflöden uppmätta vid låg belastning nattetid. Dessa mätvärden har ej korrigerats med hänsyn till den utjämnande inverkan som värmemagasineringsringen i kringliggande marklager utövat.

Mätningarna verifierar således de slutsatser som dragits i avsnitt 6.2 på teoretiska grunder, att ett effektivt tillgodogörande av värmets i det varma avloppsvattnet hos konsumenterna förutsätter värmeåtervinning inom fastigheterna. Detta är en generell slutsats utan några speciella tillämpningsförutsättningar för Kumla.

6.4.4 Spillvattenuppsamling

Temperaturdifferensen mellan punkt 6:4 och 6:5, jfr Figur 3.13, uppgick som mest till 0,5 K. Avloppsvattnets största förlust av värmeenergi härrör från passage genom ledningarna närmast konsumenten där temperaturdifferensen är störst och flödena lägst. Längre ned i systemets huvudledningar är temperaturskillnaderna mellan omgivande mark och spillvattnet lägre. Spillvattenflödena är där också så stora att en relativt liten mängd värmeenergi per passerande volymenhet åtgår för att upprätthålla temperaturgradienten genom rörvägg och i omgivande marklager. Följande uppställning visar beräknade energiförluster räknade per meter ledning som dygnsmedel, över sträckan punkt 6:4 - 6:5.

Period	Temperaturför- lust (K/m)	Energiförlust per volymenhet (Wh/m ³ ,m)	Total energiför- lust (W/m)
April 1980	$4,4 \times 10^{-4}$	0,51	11,3
Juli 1980	$1,0 \times 10^{-4}$	0,11	1,9
Nov 1980	$0,7 \times 10^{-4}$	0,08	1,5

En jämförelse med motsvarande uppställning under föregående avsnitt verifierar påståendena ovan.

Årstiderna har kraftig inverkan på temperaturen medan dygnsvariationerna är relativt små. Medeltemperaturerna vid de tre mättillfällena var i punkt 6:5 +3,7°C, +11,5°C respektive +9,3°C och dygnsvariationen uppgick som mest till 0,7K.

Avloppsvattnet i den ovan beskrivna ledningen var vid de tre mätningarna och särskilt vid värmätningen, betydligt kallare än vattnet i de två andra huvudledningarna.

Vid en stickprovskontroll under mätomgång 3 noterades kraftiga luftströmningar i klana ledningar med stark lutning medan luftdraget i de flackare liggande huvudledningarna, knappt var märkbart. Lufttemperaturen omedelbart ovanför vattenytan i huvudledningarna var några grader lägre än avloppsvattnets. Lufttemperaturen ovan mark var vid kontrollen + 0°C.

Vid mätningar på en högbelastad spillvattenledning från en industri (Bob Industrier AB) uppmättes ett temperaturfall om 2,4° på en sträcka om ca 260 m, med en ingångstemperatur om 23°C.

Slutsatsen för Kumla, liksom de generella slutsatser som dragits i avsnitt 6.2 är att om värmeåtervinning ej sker inom fastigheterna så är det avnämarmöjligheter och teknisk genomförbarhet som bestämmer läget för ett eventuellt värmeuttag, ej möjligheten att maximera värmeuttaget.

6.4.5 Avloppsrening

Avloppsvattnets temperatur vid reningsverkets inlopp varierar över året. Som lägst är temperaturen i april 7-8°C och som högst, i juli-augusti, ca 15-16°C.

Temperaturen på inkommande vatten varierade vid mättillfällena under dygnet. Det kallaste vattnet erhöles på morgonen, kl 04-06, då vattnet kunde vara upp till 2K kallare än den högsta temperaturen under samma dag. Varmast var vattnet i allmänhet på eftermiddagen.

Dygnsvariationerna var således större vid avloppsverket än utmed den norrifrån kommande huvudledningen där detaljmätningar gjordes, jämför föregående avsnitt. Detta beror troligen på att mängden dränvatten och inläckande vatten var större utmed denna ledningsgren jämfört med andra grenar där således spillvattenandelen kan antas vara större.

Nederbörd och snösmältning inverkar kraftigt på vattnets temperatur.

Vid passagen genom verket erhåller spillvattnet i regel en temperaturhöjning. Dygnsvariationerna utjämnas och blir knappt märkbara vid verkets utlopp.

Under vintern 1980-81 har en Stal-Laval värmepump med sammanlagd märkeffekt av över 400 kW installerats i Kumla avloppsverk. Värmepumpen utnyttjar värmeinnehållet i utgående avloppsvatten som värmekälla. Avloppsvattentemperaturen sänks med ca 1,5 K. Anläggningen är dimensionerad att ersätta 120-150 m³/år oljeförbrukning (ca 1,5 GWh/år) och är installerad dels av energi skäl dels som en del av en större upprustning av anläggningen av arbetsmiljöskäl. Intrimning av anläggningen pågår fortfarande och underlag finns ännu ej att bedöma driftekonomin. Det totala värmeenergiinnehållet i avloppsvattnet räknat med 0°C som referenstemperatur var under 1979 ca 85.10⁶ MJ (23 GWh/år) och den utnyttjade andelen är således relativt blygsam.

6.5 Slutsatser

Värme vid låg temperatur är den dominerande energiformen i kommunal va-hantering och stora energihushållningsmöjligheter föreligger.

Möjligheterna för värmeuttag ur renvatten är goda vid grundvattentäcker och infiltrationsanläggningar där marken utgör ett naturligt säsongslager för värme så att vattentemperaturen kan hållas jämn under året. Värmen bör tas ut så nära vattenverket som möjligt för att undvika värmeförluster från ledningsnät till omgivande mark. Risken för frysning i vattenlednings-serviser med låg vattenomsättning måste beaktas.

Den värme som tillförs vid varmvattenberedning går till stor del snabbt förlorad i avloppsnätet och en hög grad av återvinning förutsätter åtgärder inom fastigheterna. Av teknisk/ekonomiska skäl och även med hänsyn till frysrisker i va-servisen blir åtgärder i första hand aktuella i större fastigheter. I nybebyggelse kan åtgärder dock på sikt bli aktuella även för mindre fastigheter.

Värmeutvinning ur avloppsvatten utanför enskilda fastigheter sker normalt med fördel efter reningsverket. Om speciella skäl talar för utvinning före reningsverket behöver endast i undantagsfall märkbar påverkan på reningsprocessen befaras.

7 REKOMMENDATIONER

7.1 Energihushållning i va-hanteringen

Allmänt kan sägas att inom den kommunala va-hanteringen gäller, liksom inom andra områden, att ändamålsenlig skötsel, drift och underhåll av anläggningarna också innebär god energihushållning. Det är således bl a angeläget att energikrävande utrustning såsom pumpar, kompressorer och fläktar kontrolleras så att god verkningsgrad och optimala driftförhållanden upprätthålles.

Otåta ledningsnät innebär, förutom andra olägenheter, energiförluster. Förlusterna är emellertid normalt ej så stora att de ensamt kan motivera åtgärder, utan utgör endast en positiv effekt i samband med åtgärder motiverade av andra skäl.

Anaerob slamstabilisering med rötgasproduktion kan vara gynnsam ur energisynpunkt, medan aerob stabilisering är klart ogynnsam. Ett införande av anaerob stabilisering är därför ur energisynpunkt angeläget där så är tekniskt möjligt. Även möjligheter till anaerob avloppsvattenbehandling bör beaktas.

7.2 Energiutvinning ur va-systemet

Möjligheter finns att utan negativa konsekvenser för va-hanteringen ta ut energi ur va-systemet i större utsträckning än vad som sker idag. Möjligheterna är totalt sett så stora att de kan få en viss betydelse för den svenska energiförsörjningen och det är därför angeläget att praktiska erfarenheter av fullskaleanläggningar erhålls. De lösningar som står till buds och som bör prövas är följande.

Vattentäcker som är baserade på grundvatten eller konstgjord infiltration utgör naturliga säsongslager för värme. Uttag av värme med hjälp av värmepump vid vattenverket eller på huvudledningar nära vattenverket bör prövas i full skala.

Den stora energimängd som tillförs vid varmvattenberedning går till stor del snabbt förlorad i avloppsledningarna. Teknik för återvinning av denna värmeenergi bör utvecklas eftersom de negativa effekterna för senare led i va-hanteringen i de flesta fall är försumbara.

Utvinning av värme ur avloppsvatten vid reningsverk är en etablerad teknik som bör kunna få ytterligare spridning.

Bevattningsmedel av avloppsvatten av jordbruk eller energiskog innebär betydande potentiella energihushållningsmöjligheter för stora delar av landet. Energivinsterna uppstår dels genom minskat reningsbehov och dels genom utnyttjande av avloppsvattnets kemiska energiinnehåll. Pilotanläggningar bör anläggas så att allsidig erfarenhet av praktisk drift erhålls.

LITTERATUR

Bratt, A, 1978, Avloppsvatten som värmekälla för värmepump, Stadsbyggnad 5-6.

Devik, O, Isdannelsen i vore vassdrag, Tidskriftsartikel.

Eriksson, S, Pehrson, M, 1980, Kumla VA-system, mätdata, VBB-rapport A5784-100.

Fröman, B, Leander, B, 1981, Sölvesborgsprojektet, STU-rapport 79-3191.

Glas, L-O, 1978, Värmepumpboken, Ingenjör förlaget, Stockholm.

Grafström, H, 1981, Värme ur avloppsvatten, VBB-projektet, Stockholm.

Gustafsson, B, Garberg, J, 1975, Avloppsteknik, KTH, Stockholm.

Hahn, R, Hasselgren, K, Hilmer, A, 1979, Avloppsenergi, LTH, Bulletin serie VA nr 28, Lund.

Hasselgren, K, 1980, Avloppsbevättning med tillämpning inom energiodlingssystem, Bulletin serie VA nr 31, Lund.

Hjort, J, 1978, Konsumtionsvattnets temperatur sett ur energihushållningssynpunkt, VATTEN nr 4, sid 285-288.

Hultman, B, 1973, Kompendium i vattenkemi, KTH, avd för vattenkemi.

Hultman, B, 1980, Energiinnehåll i avloppsvatten, VAV-koncept.

Hydén, H, 1979, Energianalys av vattenverk, VATTEN nr 2, sid 104-109.

IVA, 1977, Analys av insatser i produkter och funktioner, IVA-rapport nr 92.

Janson, L-E, 1963, Minskning av läggningsdjup för vatten- och avloppsledningar, KVVVS publikationsserie Pu 8:2.

Janson, L-E, 1968, Tjälldjupet i Sverige, Statens naturvårdsverk, Publikation V4.

Janson, L-E, 1969, Läggningsdjup för va-ledningar i jord med hänsyn till tjäle, VAV P14.

Janson, L-E, 1977, Friktionsvärmets som frostskydd för vätskeförande ledning i mark, Stadsbyggnad 5-6, sid 67-69.

Janson, L-E, 1979, Tryckavloppsledningars frostskydd, BFR-rapport R43:1979.

Janson, L-E, Eriksson, S, Lundgren, J, 1979, Va-hantering energiomsättning - forskningsprogram, BFR-rapport projekt nr 790807-1.

Lagergren, S, Grafström, H, 1980, PM angående värmeåtervinning ur renat avloppsvatten vid Hammarö avloppsreningsverk, VBB-rapport A4951.

Lemmeke, L, 1981, Storskalig värmeförsörjning med värmepump, BFR-rapport projekt nr 810367-3.

Mattila, K-E, Sedin, S-E, 1978, Värmeåtervinning vid avloppsreningsverk, Högskolan i Lund, examensarbete 1978:180E.

Mikkelsen, Thorhild-Jensen, Winther, Linde-Jensen, 1971, Notater om spildevandsteknik, Polyteknisk forlag, Köpenhamn.

Norberg, T, 1981, Energibesparingar vid va-anläggningar, VATTEN nr 1, sid 94-96.

Thomsson, S, Grafström, H, PM beträffande utnyttjande av orenat processavloppsvatten som värmekälla för en värmepumpanläggning.

Ullman, M, 1979, Metoder att höja råvattentemperaturen, KTH, inst för vattenbyggnad, examensarbete.

Ulmgren, L, Rennerfelt, J, 1975, Vattenreningsteknik, Ingenjörsläroverket, Stockholm.

VAST INFO, Storskalig värmepump i Skurup med orenat avloppsvatten som värmekälla, nr 4, 1979.

VAV, Va-taxor 1975, 1975, VAV TX75.

VÅV, Vattenprognos 1975-2000, 1975, VAV P30.

VAV, Va-verk 1976, 1977, VAV S76.

VAV, Va-taxor 1981, 1981, VAV TX81.

VBB, 1981, Värmelagring i grundvatten, NE-projekt 2060592.

Värme ur avloppsvatten, 1981, Ny teknik nr 8.

Wesner, G, 1978, Energy for production of consumable materials, ASCE Environmental Engineering Division Journal, June 1981, pp 401-414.

Sorter och begrepp

Energi anges i J (KJ, MJ)

Omräkning mellan olika sorts-system görs med omräkningsfaktorer enligt följande:

	kpm	kcal	kWh	kJ
1 kpm =	1	$2,34 \cdot 10^{-3}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^{-3}$
1 kcal =	426,9	1	$1,16 \cdot 10^{-3}$	4,19
1 kWh =	$3,67 \cdot 10^5$	859,8	1	$3,6 \cdot 10^3$
1 kJ =	101,9	0,238	$2,78 \cdot 10^{-4}$	1

Effekt anges i J/s (kJ/S, MJ/s)

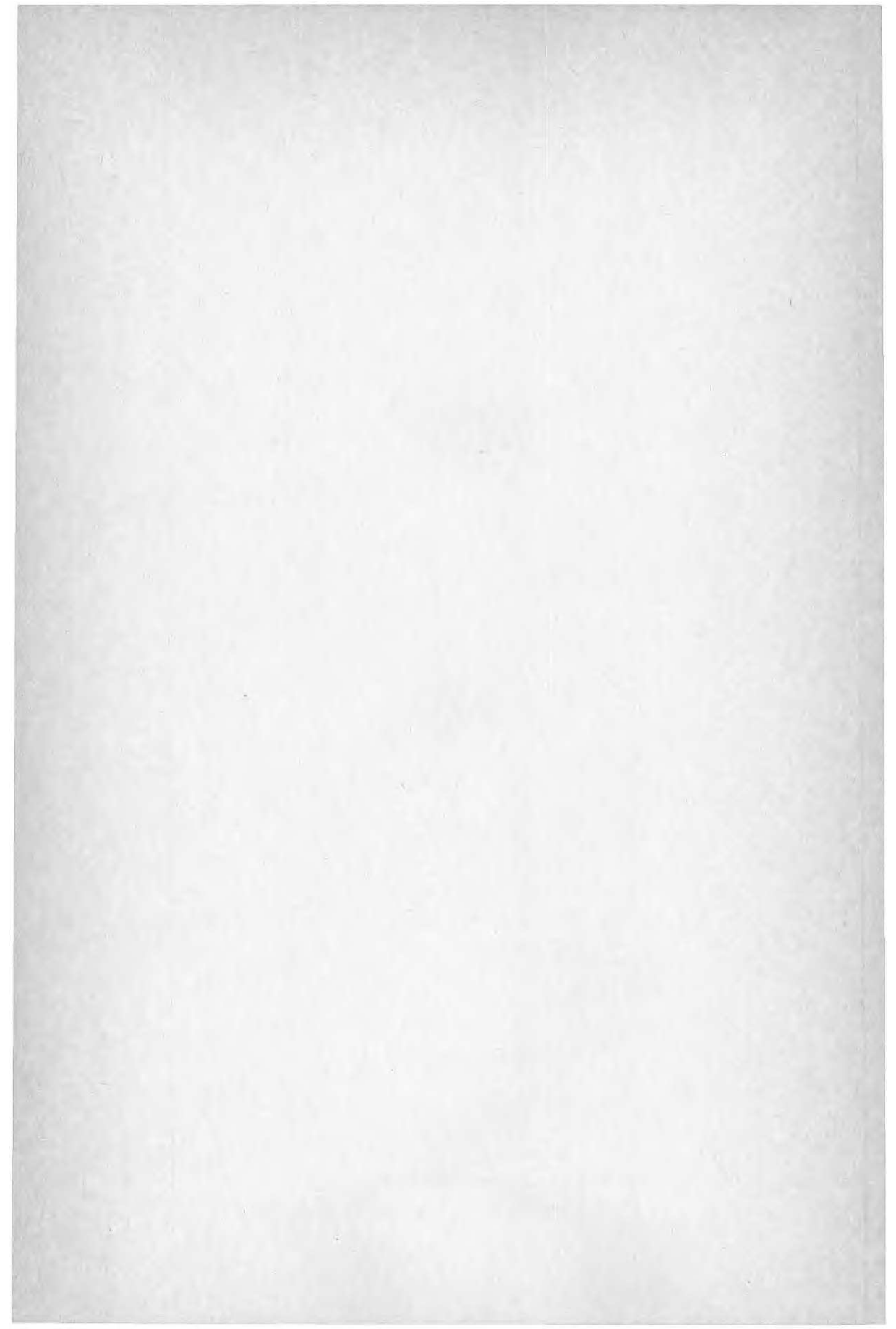
1 J/s = 1 W

Omräkning mellan olika sorts-system görs med omräkningsfaktorer enligt följande:

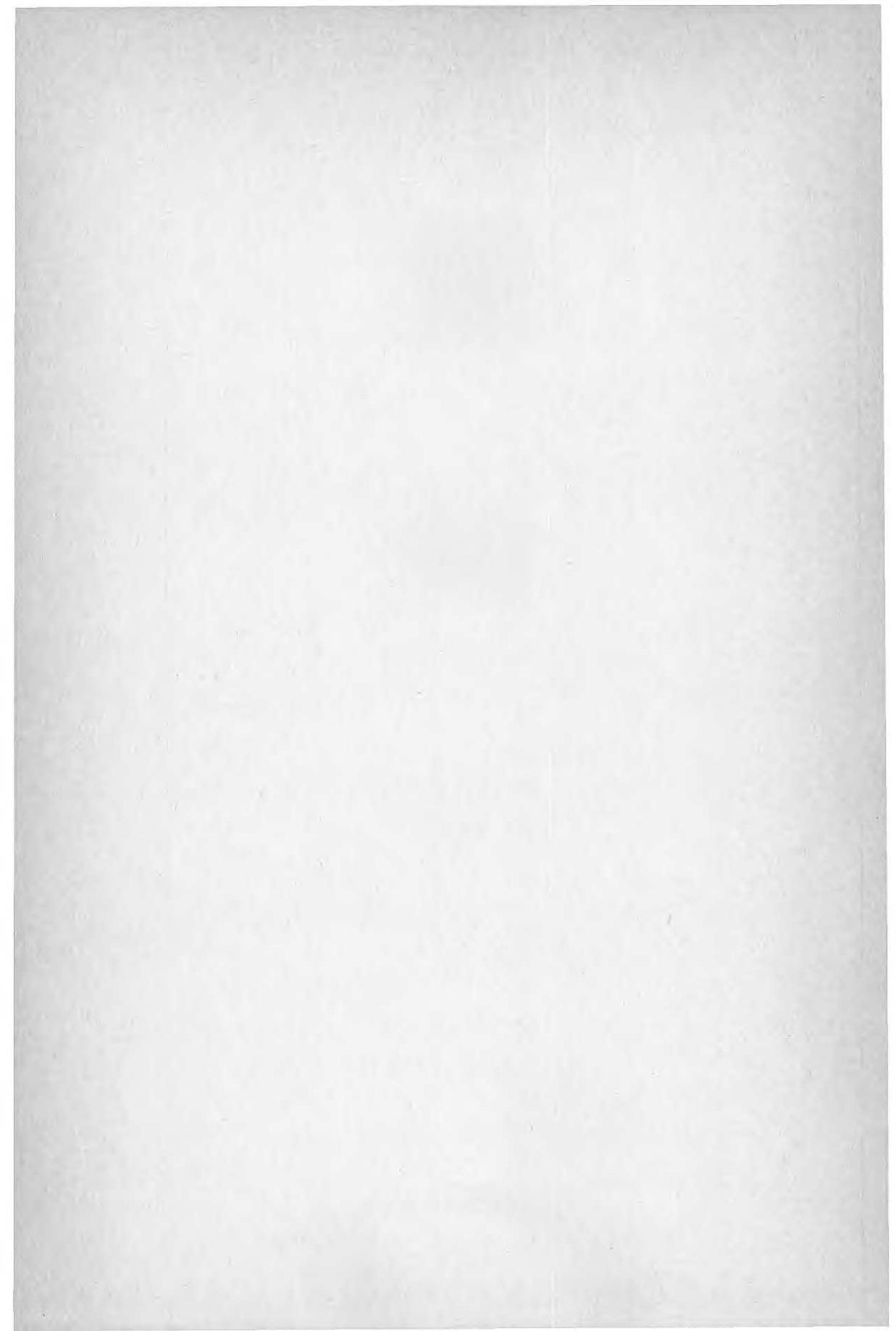
	J/s	kpm/s	kcal/h	hk
1 J/s	1	0,102	0,86	$1,36 \cdot 10^{-3}$
1 kpm/s	9,81	1	8,43	$13,3 \cdot 10^{-3}$
1 kcal/h	1,16	0,119	1	$1,58 \cdot 10^{-3}$
1 hk	735,5	75	632	1

Temperatur

Absolut temperatur anges i °C
Temperaturdifferens anges i °K







Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790807-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till VBB AB, Stockholm.

R132: 1981

ISBN 91-540-3602-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700432

Abonnemangsgrupp:
W. Installationer

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 30 kr exkl moms