



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

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



Rapport

R46:1984

Värmeåtervinning ur avlopps- ledningarnas ventilationsluft

Förstudie

Bernt Karlsson

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac <i>Ser</i>

*K
AMS*

Byggeforskningsrådet

R46:1984

VÄRMEÅTERVINNING UR AVLOPPSLEDNINGARNAS
VENTILATIONSLUFT

Förstudie

Bernt Karlsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830362-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till K-Konsult, Stockholm.

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

R46:1984

ISBN 91-540-4116-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING

1	BAKGRUND OCH AVGRÄNSNINGAR	6
2	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄRMEUPPTAGNING UR AV- LOPPSLEDNINGARNAS VENTILATIONS LUFT	7
2.1	Inledning	7
2.2	De kommunala avloppsledningsnäten	7
2.3	Kommunalt avloppsvatten	9
2.3.1	Spillvatten från hushåll	10
2.3.2	Dag- och dräneringsvatten	10
2.3.3	Flödesvariationer	11
2.3.4	Temperaturvariationer	14
2.3.5	Föroreningsinnehåll	16
2.4	Potentialuttag	16
3	AVLOPPSLEDNINGSNÄTET SOM VÄRMEVÄXLARE	18
3.1	Teori	18
3.2	Beräkningar	20
4	KOSTNADER	26
5	SLUTSATS	27
6	REFERENSER	28

SAMMANFATTNING

Sannolikt finns i dag en total tillgänglig energimängd i avloppsledningsnätet av 30 TWh/år. Hitintills har det varit svårt att utnyttja denna energimängd på ett ekonomiskt försvarbart sätt, främst beroende på avnämarsidans lokalisering i förhållande till avloppsreningsverk, föroreningsart och sammansättning, bebyggelsestruktur etc.

I denna förstudie har en ny okonventionell metod studerats, som till stora delar löser ovanstående problem och på ett mycket enkelt sätt återvinner värme ur avloppsledningsnätet.

Metoden går ut på att befintligt avloppsledningsnät utnyttjas som värmeväxlare genom att ett styrt luftflöde förs från intagspunkter på ledningsnätet mot en spillvattenproducent. Spillvattenproducenter kan antingen vara ett enfamiljshus, flerfamiljshus, industri el dyl. Den upptagna värmen tas till vara i konventionella luft/vattenvärmepumpar anslutna till berörda fastigheter och man kan därför även tillgodogöra sig värmets ur fastigheternas frånluftsflöde genom att blanda detta flöde med avloppsventilationsflödet. Härigenom ökar den återvunna energin högst betydligt.

Vid en mer allmän tillämpning av metoden kan såväl positiva som negativa effekter påverka avloppsledningsnäten, reningsverken respektive nyttjaren. Ovanstående effekter har ej studerats i detalj, utan förstudien har inriktats på att undersöka hur stor andel av den totala energimängden i avloppsledningsnäten, som går att återvinna utan att avloppssystemets säkerhet äventyras.

Resultatet från förstudien visar att ca 8-10 TWh/år skulle kunna återvinnas med metoden. Betydligt större energimängder går sannolikt att utvinna, men detta kräver praktiska försök och lokalkännedom om de enskilda ledningssystemen.

Energiåtervinningsmetoden innebär att ca 2-3°C av spillvattentemperaturen, som annars går förlorad genom förluster till omgivande mark, självdragsventilation etc kan tillgodogöras. Denna energimängd motsvarar ca 3 TWh/år och kan med dagens energiåtervinningsmetoder vid avloppsreningsverken sålunda ej återvinnas.

För ett enskilt hushåll med i genomsnitt tre personer visar studien att det är möjligt att göra ett energiuttag i storleksordningen 500-1 000 W. Erforderlig avloppsledninglängd för att åstadkomma detta energiuttag blir ca 15-30 m med ett luftflöde av 50-100 m³/h. Detta luftflöde skall jämföras med dagens avloppsventilation över tak, som på många håll ligger i storleksordningen 50-60 m³/h.

Kostnader för att göra ovanstående energiuttag begränsas genom att själva systemet (d v s avloppsledningsnätet) redan är befintligt. Vad som krävs i fastigheten

är att en frånluftsvärmepump installeras med så pass stor kapacitet, att värmets både ur husets frånluftsflyde och ur avloppsventilationsluften kan upptas. På avloppsledningsnätet krävs eventuellt någon form av in- tagspunkter för inläpp av uteluft. Kostnaderna för ovanstående åtgärder bedöms betala sig redan första året.

Förstudien bygger på en teoretisk beräkning och bör med hänsyn till de positiva resultat som erhållits, kompletteras med praktiska försök och detaljstudier. På så sätt kan metoden anpassas och utvecklas så att en befintlig resurs kan göras användbar.

1 BAKGRUND OCH AVGRÄNSNINGAR

Avloppsvattnet, som i dag transporteras via ledningar till avloppsverken, har enbart från landets bostadshus ett värmeinnehåll av storleksordningen 10 TWh/år. En motsvarande mängd förs till avloppsnäten från industri, kontor samt offentliga byggnader.

Samtidigt med att dessa vattenmängder transporteras sker ett värmeutbyte mellan avloppsledningarna och omgivande mark. Avloppsvatten, som är varmare än den omgivande marken, kyls av, medan kallare avloppsvatten värms upp. Avkylning respektive uppvärmning beror dels på den värmeöverförande ytan, men även på graden av inläckande grundvatten samt eventuella dagvattenpåsläpp. Inläckning respektive värmeöverföring torde ge ett värmetillskott av storleksordningen 10 TWh/år. Sammantaget är därmed den totala tillgängliga värmemängden i avloppsnäten i storleksordningen 30 TWh/år.

På grund av föroreningarnas art och sammansättning har det hitintills varit svårt att på ett ekonomiskt försvarbart sätt kunna återvinna någon betydelsefull del av den avgivna värmemängden.

Nu finns en ny, okonventionell metod, som på ett mycket enkelt sätt återvinner värme ur avloppsledningsnätet utan direkt beröring med det förorenade vattnet. Metoden går ut på att befintligt avloppsledningsnät utnyttjas som värmeväxlare genom att ett styrt luftflöde förs från intagspunkter på ledningsnätet mot en "spillvattenproducent". Spillvattenproducenten kan antingen vara ett enfamiljshus, flerfamiljshus, industri el dyl. Den upptagna värmen ur avloppsledningsnätet tas till vara i konventionella luft/vattenvärmepumpar, anslutna till berörda fastigheter.

De värmepumpar, som är tänkta att användas, är främst konventionella frånluftsvärmepumpar. Man kan därför även tillgodogöra sig värmet ur fastigheternas frånluftsflyde genom att blanda detta flyde med avloppsventilationsflydet. Härigenom ökar den återvunna energin högst betydligt.

Vid en mer allmän tillämpning av metoden kan såväl positiva som negativa effekter påverka avloppsledningsnäten, reningsverken respektive nyttjarna. Ökar graden av återvinning ökar även risken för negativa effekter. För att kunna bedöma metodens möjligheter för energiåtervinning ur avloppsvatten, begränsas i denna förstudie värmeuttaget till en nivå, som ej bör äventyra avloppssystemets säkerhet. Att bedöma den totalt möjliga besparingspotentialen får utvärderas i en fortsatt studie, då detta kräver praktiska försök.

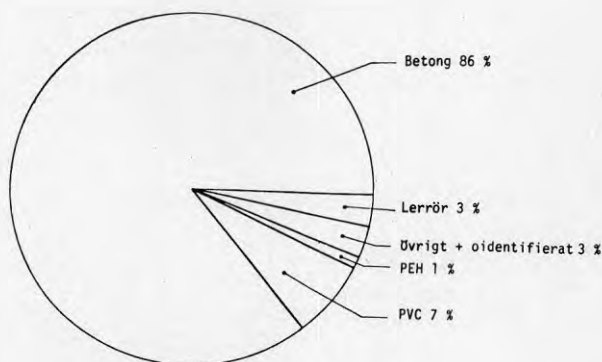
2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄRMEUPPTAGNING UR AVLOPPSLEDNINGARNAS VENTILATIONS LUFT

2.1 Inledning

Studien inleds med att beskriva de system, som energiåtervinningsmetoden är tänkt att appliceras på. Utifrån dessa förutsättningar bestäms en nedre gräns på den återvinningsgrad, som kan anses vara möjlig att göra utan att riskera avloppssystemens säkerhet. Med denna återvinningsgrad som utgångspunkt, görs en teoretisk beräkning på om det är möjligt att använda avloppsledningsnätet som värmeväxlare för denna återvinning.

2.2 De kommunala avloppsledningsnäten

Det svenska kommunala avloppsledningsnätet omfattar exklusive serviser ca 67 500 km ledningar. Materialet i dessa ledningar utgörs till ca 85 % av betong. Resterande del utgörs i huvudsak av PVC, figur 2.1.



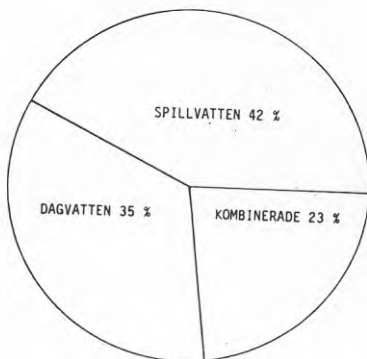
Figur 2.1., Uppskattad fördelning mellan olika materialslag i befintligt avloppsledningsnät 1980 exkl serviser (VAV:s översiktsstatistik)

I det kommunala avloppsledningsnätet kan tre typer av avloppsvatten särskiljas:

- Spillvatten (från hushåll eller industriell verksamhet)
- Dagvatten
- Dräneringsvatten

Dessa tre typer av avloppsvatten kan antingen avledas i en gemensam ledning, kombinerade system, eller genom att spillvattnet separeras från dagvattnet, separata system, figur 2.2. Dräneringsvattnet avleds dels i spillvatten- respektive dagvattenledningarna. Beroende på att ledningssystemen inte är täta, förekommer inläckning i olika former. Denna inläckning kan i vissa fall betydligt överstiga spillvattenmängderna.

Ur figur 2.2 kan man konstatera att de separerade systemen klart dominerar, men att det alltså finns betydande mängder av kombinerade avloppsledningar.

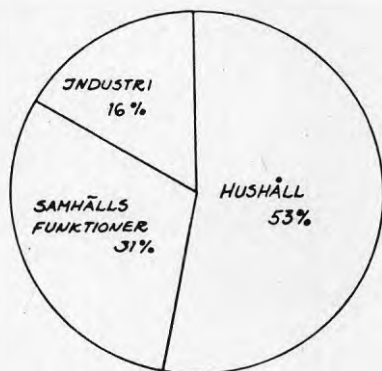


Figur 2.2. Fördelning av avloppsledningar efter ledningssystem, större tätorter 1975 (VAV, Bättre avloppsnät)

Hög avloppstemperatur respektive stort och jämnt flöde ger de bästa förutsättningarna för den beskrivna energiåtervinningsmetoden. På grund av begränsningarna, som görs i denna förstudie, lämnas dagvattenledningarna åt sidan, då flödet i dessa ledningar vintertid är begränsat respektive håller en låg temperatur. Ett energituttag i dessa ledningar skulle troligtvis innebära risk för frysning av vissa ledningar. Återstår då de kombinerade respektive spillvattensystemen. Spillvattensystemen bör ha högre temperatur än de kombinerade systemen, då dessa i större utsträckning tar emot dagvattenmängder, som vintertid vid snösmältningen kan bli mycket stora respektive håller en låg temperatur. I framtiden bör man dock räkna med separerade system, då dessa kommer att ersätta de kombinerade systemen. I den fortsatta diskussionen kommer därför spillvattensystemen att betraktas.

2.3 Kommunalt avloppsvatten

Den största delen av det vatten, som konsumeras i en kommun, mottas i dess reningsverk som avloppsvatten. Förbrukad renvattenmängd uppgick 1982 till ca 950 milj m³/år. En uppskattad fördelning av den kommunala vattenanvändningen (1982) framgår av figur 2.3.

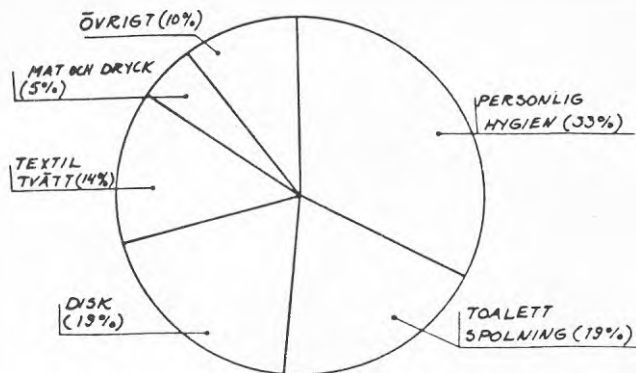


Figur 2.3. Fördelningen av den kommunala vattenanvändningen. Totalt 950 milj m³ (1982)

I den kommunala vattenanvändningen inryms förluster i distributionsledningar, vattenverkens interna behov samt bevattning av gemensamma anläggningar som parker, idrottsplatser o dyl. Dessa andelar uppgår till ca 20 % av den kommunala vattenanvändningen. Således bildar 80 % av den kommunala vattenanvändningen spillvatten, som i sin tur rinner i avloppsledningarna mot reningsverken. På vägen mot reningsverken försvinner i storleksordningen ca 5 % av spillvattenmängderna genom utläckage. Totalt kommer det enligt ovanstående ca 75 % av den kommunala vattenanvändningen tillbaka i form av spillvatten till reningsverken. 1980 utgjorde denna mängd 720 milj m³. Mottagen avloppsvattenmängd var 1980 ca 1 950 milj m³. Detta innebär att endast ca 1/3 av den totala avloppsvattenmängden är spillvatten. Resterande del utgörs av dagvatten och dräneringsvatten.

2.3.1 Spillvatten från hushåll

I hushållen används vatten för många ändamål. En uppskattad fördelning av hushållens vattenanvändning framgår av figur 2.4.



Figur 2.4. Fördelningen av hushållens vattenanvändning 1980, totalt 500 milj m³

Under senare år har spillvattenmängden, som härrör från toalettspolning minskat till följd av att allt vattensnålare klosetter används. Övrig hushållsspillvattenmängd är numera konstant beroende på att den hygieniska standarden på de allra flesta håll är utbyggd så långt det är rimligt. Man kan därför förvänta sig att nuvarande vattenförbrukning inte förändrar sig i någon nämnvärd omfattning i framtiden.

Total vattenförbrukning, som man kan återfinna i avloppsreningsverket, är i storleksordningen 200-230 l/pd (liter per person och dygn).

2.3.2 Dag- och dräneringsvatten

Med dagvatten menas regnvatten, som avleds från hårdgjorda ytor och i begreppet dräneringsvatten inryms vatten avlett från byggnadsgrunder o dyl samt inläckande grundvatten.

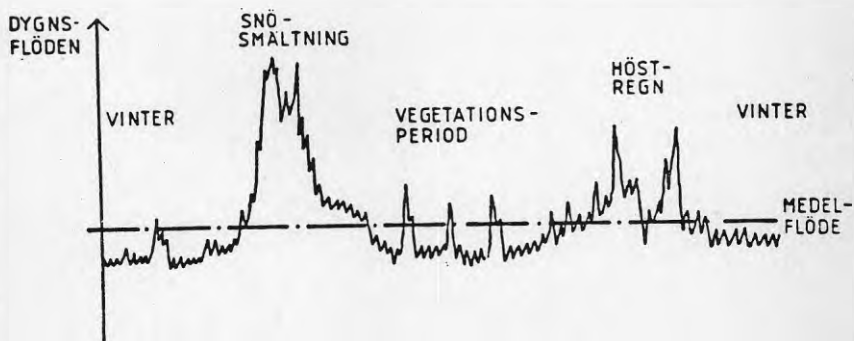
Inläckande grundvatten varierar från system till system, men brukar utgöra lika stor del som spillvattenmängden.

2.3.3 Flödesvariationer

Avloppsvattenflödenas storlek och variation beror på avrinningsområdets och inläckningens omfattning och typ.

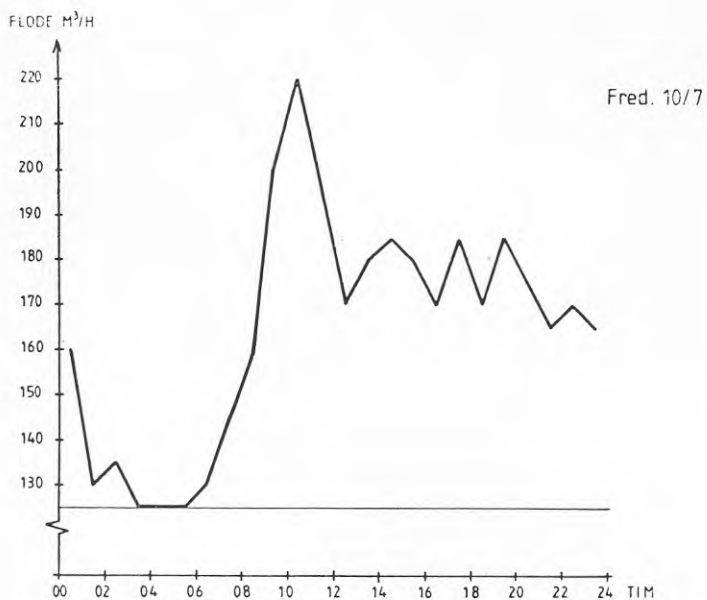
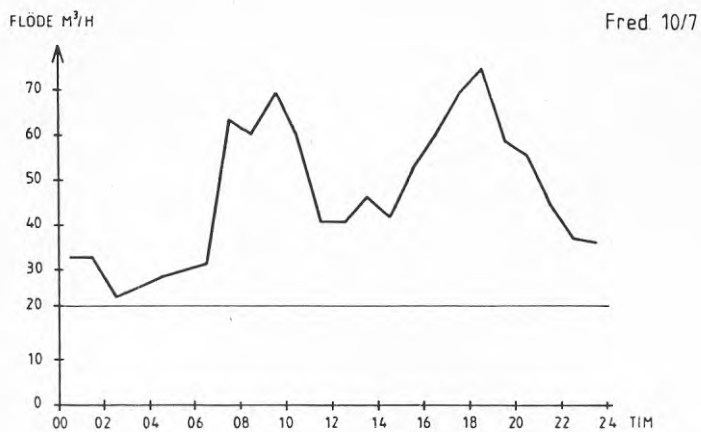
Ett större avrinningsområde med fler vattenförbrukare ger större spillvattenflöde med mindre variation. Finns det många industrier anslutna kan flödesvariationerna påverkas mycket och öka eller minska beroende på driftsättet i varje enskilt fall.

En stor och jämn inläckning i avloppsledningsnätet minskar flödesvariationerna. Vid snösmältning och regnväder kan inläckningen helt dominera flödesbilden under en lång följd av dagar, då spillvattenvariationerna är helt försumbara. I grova drag kan flödesvariationerna under ett normalår åskådliggöras som i figur 2.5.

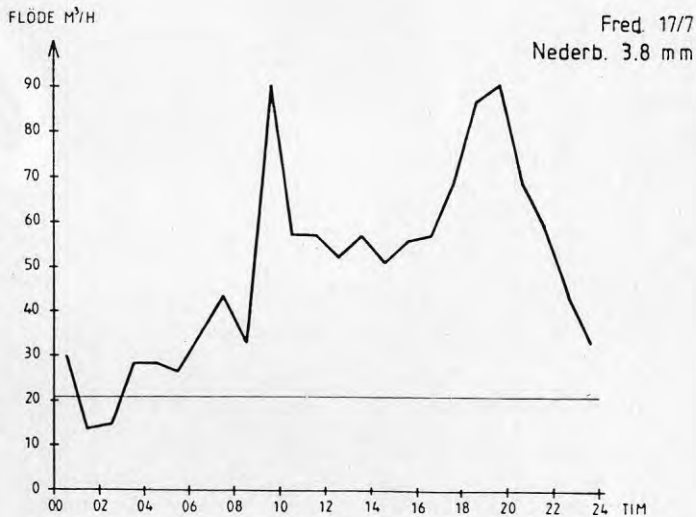
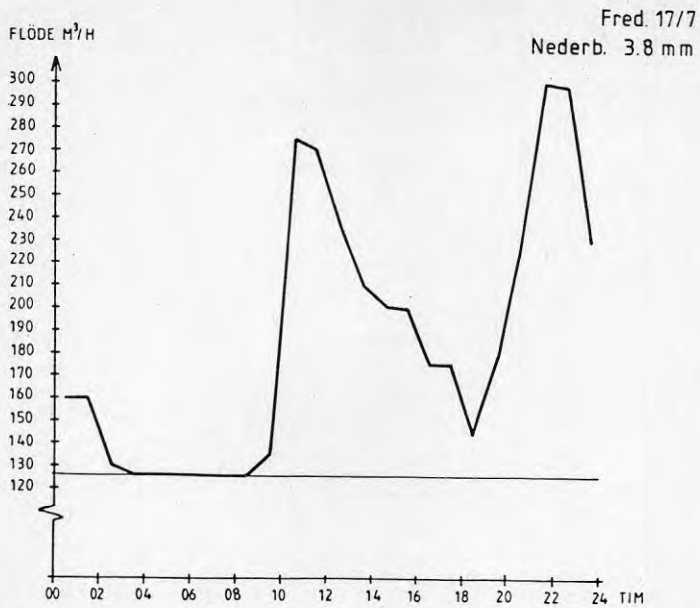


Figur 2.5. Schematisk bild över avloppsvattenflödenas variation under ett normalår

Avloppsvattenflödenas variation över dygnet påverkas av de tidigare beskrivna förutsättningarna. I figur 2.6 visas några exempel på uppmätta flödesvariationer i avloppspumpstationer. Flödena är uppmätta under en torrvädersperiod och antal personer, som är anslutna till avloppspumpstationerna, varierar från ca 400 till ca 7 000 pe. Områdena utgörs i huvudsak av bostadshus (villor). I figur 2.7 har flödena mätts i samma avloppspumpstationer, men då under ett nederbördsdygn. Variationen i avloppsvattenflöde mellan de olika avloppspumpstationerna är mycket stor. De lägsta avloppsflödena varierade i dessa områden mellan 200-400 l/pd och de högsta avloppsvattenflödena varierade mellan 400-850 l/pd. Vid regndygn med måttlig nederbörd (<5 mm) översteg de högsta avloppsvattenflödena 1 000 l/pd.



Figur 2.6. Exempel på flödesvariationer i avloppspumpstationer uppmätta under torrvädersperiod. Antal anslutna personer varierar mellan 400-7 000 pe



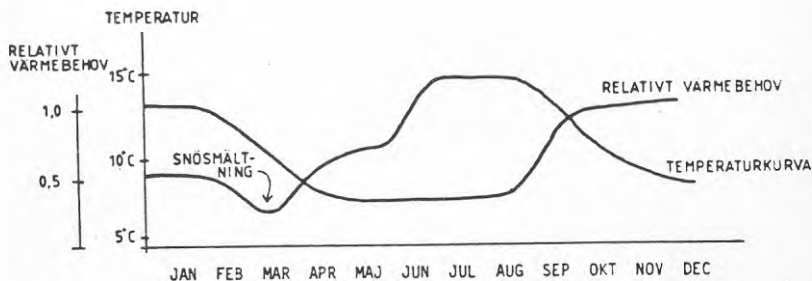
Figur 2.7. Exempel på flödesvariationer i avloppspumpstationer uppmätta under ett regn (< 5 mm). Antal anslutna personer varierar mellan 400-7 000 pe

2.3.4 Temperaturvariation

Avloppsvattnets temperatur varierar under året och är beroende av vilket ursprung det har (hushållsspillvatten eller industriavlopp). Vidare inverkar hur lång väg vattnet transporterats i ledningen respektive hur stort inläckage som finns.

Högsta temperaturerna erhålls sommartid, medan lägsta temperaturen oftast uppträder under snösmältningen. Det är viktigt att konstatera att man inte har de lägsta temperaturerna under vintermånaderna, då energi- och effektbehovet är som störst för uppvärmningen av bostäderna.

I grova drag kan temperaturvariationerna vid avloppsreningsverken under året åskådliggöras som i figur 2.8. I figuren har också lagts in det ungefärliga relativa värmebehovet för ett bostadsområde.



Figur 2.8. Schematisk bild över avloppsvattentemperaturen vid avloppsreningsverken under året

Enligt figur 2.8 ligger lägsta avloppstemperaturen vid avloppsreningsverken vintertid kring 8-10°C. Lägre temperaturer kan förekomma vid snösmältningen, men flödet är i stället högre vid dessa tillfällen, så att det totala energiinnehållet är oförändrat eller till och med större.

Längre upp i systemen och i fastigheternas närhet har ej några omfattande mätningar gjorts. Eftersom energiåtervinningsmetoden bygger på att ta värmets ur avloppsvattnet i anslutning till spillvattenproducenten, är det intressant att bedöma temperaturförhållandena i denna del av avloppsledningsnätet.

Med vetskap om avloppsvattnets sammansättning i såväl temperatur- som flödeshänseende bör temperaturförhållandena i anslutning till spillvattenproducenten kunna bedömas.

Enligt tidigare exempel på torrvädersflöden till avloppspumpstationer varierade de lägsta flödena inom intervallet 200-400 l/pd och de högsta flödena mellan 400-850 l/pd. De lägre flödena inträffade nattetid och mitt på dagen, emedan de högsta flödena inträffade på morgonen respektive eftermiddagstimmarna. Dessa förhållanden gällde för områden, som till stor del bestod av bostadsområden. Vid inslag av kontor, industri eller stor inläckning utjämnas flödesbilden.

Tar man medelvärdet av de lägsta respektive högsta avloppsvattenflödena, erhålls 525 l/pd. Denna mängd stämmer bra överens med årsmedelvärdet till avloppsreningsverken, som ligger i storleksordningen 550 l/pd.

Enligt tidigare bestod avloppsmängden vid reningsverken, sett under ett år, av 1/3 spillvatten och 2/3 dag- och dräneringsvatten.

Dräneringsvattendelen utgör storleksmässigt ca 1/3 och sålunda utgör dagvattendelen även den 1/3.

Dränerings- respektive spillvattendelen har en lång varaktighet, emedan dagvattendelen har en kort varaktighet. Av denna anledning är det rimligt att anta att avloppsvattnet under en stor del av året består till 50 % av spillvatten och 50 % dräneringsvatten. Vid regn är spillvattendelen försumbar, då dagvattendelen kan vara 7-10 ggr så stor.

För att erhålla temperaturen vid spillvattenproducenten skulle man alltså kunna bestämma utgående hushålls- spillvattentemperatur och mixa den med dräneringsvattendelen.

Med hjälp av 2.3.1 (spillvatten från hushåll) kan tabell 2.1 uppställas.

Typ av hushålls- vatten	Mängd, l	Temp, °C
Disk	37	20
Tvätt	26	20
Mat och dryck	10	8
Personlig hygien	70	35
Toalettspolning	37	18
Övrigt	<u>20</u>	10
	200	

Tabell 2.1. Hushålls- spillvattenmängdernas temperatur och mängdfördelning per person. Total vattenförbrukning 200 l/pd

Tabellen ger att utgående spillvatten från hushållen ligger i intervallet 20-25°C. Lokalt kan högre temperatur förekomma, men då med mycket kort varaktighet.

Enligt tidigare och ovanstående resonemang är avloppsvattnets temperatur när det börjar att rinna in i avloppsledningsnätet ca 20-25°C och när det rinner ut ur avloppsledningsnätet ca 8-10°C.

Om man antar att avloppsvattnet vid spillvattenproducenten inblandas med ca 50 % dräneringsvatten med temperaturen 6°C, erhålls en medeltemperatur i anslutning till spillvattenproducenten på ca 14-16°C. Resterande temperatursänkning ned till 10°C skulle alltså utgöras av förluster till omgivande mark, självdragsventilation, samt att en viss flödesutjämning erhålls i systemet som helhet.

2.3.5 Föroreningsinnehåll

Ett av de största problemen med utnyttjandet av avloppsvärme, där man kyler avloppsvattnet i konventionella värmeväxlare, är igensättning och beläggningsriskerna på värmepumpens förångningssida.

Med den nya energiåtervinningsmetoden begränsas problemen till att gälla korrosion och eventuella luktproblem, orsakade av utsläppen av avloppsventilationsluften. Korrosionsproblemen löses genom lämpligt materialval i förångardelen. Luktproblemen kan begränsas genom att ventilationsluften innehåller ett högt vatteninnehåll, som medför att luktämnen löses till stor del i det kondensvatten som bildas, som i sin tur återförs till avloppsledningsnätet. Skulle besvärande luktproblem kvarstå, kan avloppsventilationsluften blåsas genom ett lämpligt luktreducerande filter.

2.4 Potentialuttag

Vid utnyttjandet av avloppsvatten som energikälla uppkommer en mängd frågeställningar från såväl ekonomisk, juridisk som funktionell synpunkt. Ett för stort potentialuttag kan inverka på ledningarnas frostsäkerhet, påverka reningseffekten vid avloppsreningsverken eller inlagringen av det behandlade avloppsvattnet i recipienten.

För att kunna bedöma metodens möjligheter för energiåtervinning ur avloppsvatten, har i denna förstudie potentialuttaget begränsats till en nivå, som ej bör äventyra avloppssystemets säkerhet. Att bedöma den totalt möjliga besparingspotentialen får utvärderas i en fortsatt studie, då detta kräver praktiska försök.

Energiuttaget har i de följande beräkningarna begränsats till följande:

- Avloppsvattnet kyls ej under + 8°C
- Anslutningsprocentandelen av de aktuella fastigheterna begränsas till att gälla 50 % av beståndet

Med ovanstående begränsningar blir total uttagbar potential i spillvattnet + dräneringsvattnet (1 300 milj m³/år), då detta vatten sänks från 14°C till 8°C, ca 9-10 TWh/år. Dagvattendelen (600 milj m³/år) i avloppsvattnet tas ej med i beräkningen, då detta vatten vintertid har en kort varaktighet med en temperatur understigande + 8°C.

3 AVLOPPSLEDNINGSNÄTET SOM VÄRMEVÄXLARE

3.1 Teori

Om en ickefylld ledning med vatten passeras av en luftström, vars temperatur är lägre än vattnets, överförs en värmemängd till luftströmmen.

Den överförda värmemängden per tidsenhet från vattentytan till luften (eller omvänt) erhålls genom konvektion, avdunstning och strålning.

$$P = P_{kw} + P_d + P_s, \text{ där} \quad (3.1)$$

P = total överförd värmemängd

P_{kw} = värmemängd överförd vid konvektion

P_d = " - avdunstning

P_s = " - strålning

där

$$P_{kw} = A \cdot \alpha_{kw} \cdot (t'' - t) \quad (3.2)$$

$$P_d = r \cdot q_d = A \cdot r \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} (x'' - x') \quad (3.3)$$

$$P_s \approx A \cdot s (t'' - t') \quad (3.4)$$

Vid mindre temperaturdifferenser och eftersom $P_s \ll 1$, kan värmeöverföring genom strålning försummas, d.v.s. $P_s \approx 0$.

Med hjälp av 3.1 + 3.2 + 3.3 erhålls

$$P = A \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} \left[(t'' - t) C_{pl} + r (x'' - x) \right] \quad (3.5)$$

Varav approximativt erhålls:

$$P = A \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} (i'' - i) \quad (J/s = w) \quad (3.6)$$

I ekv 3.2-3-6 har följande beteckningar använts:

P = Överförd värmemängd per tidsenhet, J/s = w

A = Värmeöverförande yta, m²

α_{kw} = Värmeövergångstalet för konvektion mellan luft och vatten, W/m² C

C_{pl} = Luftströmmens specifika värme, 1 000 J/kg C

x'' = Fuktighetsinnehåll för mättad luft av vattnets temperatur (t'') kg/kg

x' = Fuktighetsinnehåll för luftströmmen, kg/kg

r = Vattnets ångbildningsvärme, J/kg

q_d = Avdunstade fuktmängden per tidsenhet, kg/s

t = Luftströmmens temperatur i °C, som förutsätts $t > t_{dagg}$

t'' = Fuktiga ytans temperatur

i'' = Entalpin* för mättad luft av fuktiga ytans temperatur, J/kg

i = Entalpin* för luftströmmen, J/kg

*Entalpi = Summan av mediets inre energi (temperatur, molekylernas och atomernas potentiella energi) och yttre energi (volym, tryck)

Den överförda värmemängden genom konvektion och avdunstning bortsett från strålning är enligt 3.6

$$P = A \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} (i'' - i) W$$

Den avdunstade fuktmängden är enligt 3.3:

$$q_d = A \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} (x'' - x) \text{ kg/s}$$

Beteckningar enligt ekv 3.2-3.6

Värden på x , x'' , i och i'' tas ur diagram för fuktig luft.

Då $i'' > i$ är värmeöverföringen riktad från vattenytan och kylning av vattnet erhålls.

Då $i'' < i$ är värmeöverföringen riktad från luften och kylning av luften erhålls.

Då i'' blir $P = 0$, vilket motsvarar den s k kylgränsen.

För värden på α_{kw} används erfarenhetsvärden.

3.2 Beräkningar

Med beaktande av begränsningar i potentialuttaget görs i följande beräkningar nedanstående antagande:

- I beräkningen betraktas 40 st hushåll, varav 20 st är anslutna till energiåtervinningsmetoden.
- Från varje hushåll erhålls 900 l/d inklusive allt inläckage. Detta vatten har enligt tidigare beräkningar en temperatur av ca 14-16°C.
- Avloppsvattnet kyls till + 8°C med hjälp av atmosfärisk luft med en inkommande temperatur av - 10°C, - 5°C, + 0°C, + 5°C, d v s 4 st fall. Sluttemperaturen på denna luft ansätts till + 12°C.
- Värmeövergångstalet α_{kw} ansätts till 20 W/m² °C.
- Relativa fuktigheten på genomströmmande luft ansätts till 100 %.

Eftersom samtliga fastigheter genererar 900 l/d blir den tillgängliga volymen för de anslutna fastigheterna 1 800 l/d.

Toalt är det ca 36 m³ avloppsvatten/dygn, som skall kylas från + 14°C ned till + 8°C.

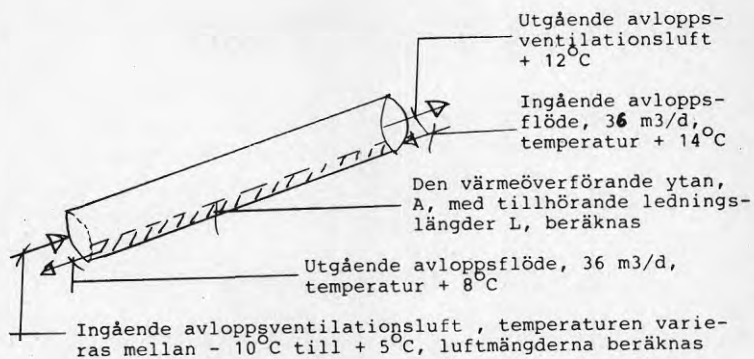
Den tillgängliga värmemängden för de anslutna hushållen blir:

$$P = \frac{36}{24 \cdot 3600} \cdot 4,2 \cdot 1\,000 (14 - 8) \approx 10 \text{ kW}$$

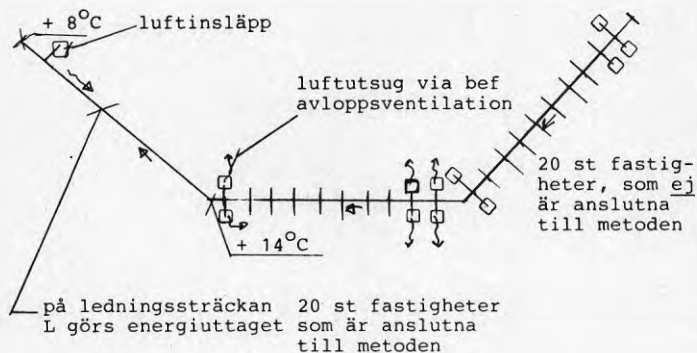
10 kW fördelat på 20 st hushåll innebär att det finns ca 500 W/hushåll tillgängligt.

I de fortsatta beräkningarna bestäms de erforderliga värmeöverföringsytorna A med tillhörande ledningslängder och luftmängderna q, som krävs för att kyla 36 m³ avloppsvatten/dygn från + 14°C ned till + 8°C, d v s för att erhålla tillgängliga energimängden 10 kW.

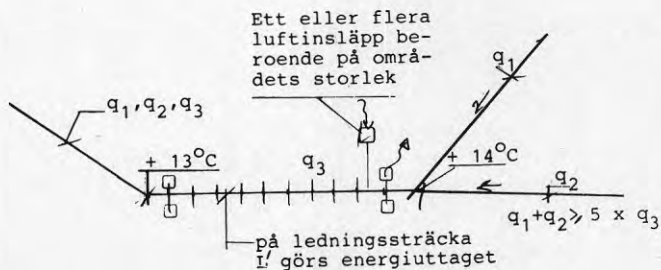
I figur 3.2 har ett randområde av ett avloppsledningsnät betraktats. Beroende på att avloppsvattenflödet i denna del av avloppsledningsnätet är begränsat, görs energiuttaget nedströms området, samtidigt med att endast 50 % av fastigheterna ansluts till energiåtervinningsmetoden. I figur 3.3 betraktas ett energiuttag, som ej utgörs av ett randområde. Är avloppsvattenmängderna från omkringliggande områden, som ej är anslutna till metoden, betydligt större än de avloppsvattenmängder som erhålls från det anslutna området, görs energiuttaget direkt i anslutning till fastigheten. I exemplet i figur 3.3 antas flödet från omkringliggande områden vara minst 5 ggr större än för det anslutna området. Energiuttaget kan därmed ökas högst väsentligt i jämförelse med det förstnämnda fallet. Det sistnämnda fallet kommer vid en tillämpning av metoden att bli det vanligaste.



Figur 3.1. Kylning av avloppsvatten med hjälp av atmosfärisk luft, Ledningssträcka L



Figur 3.2. Energiuttag ur ett avloppssystem, som utgörs av ett randområde, beräkningsexempel



Figur 3.3. Energiuttag ur ett avloppssystem som ej utgörs av ett randområde

Beräkningsexempel, figur 3.2:

Enligt tidigare gäller:

$$q_d = A \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} (x'' - x') \text{ kg/s} \quad \text{Avdunstad mängd}$$

$$q_l = \frac{P}{\Delta i} \quad \text{kg/s} \quad \text{Erforderliga luftmängder}$$

$$P = A \frac{\alpha_{kw}}{C_{pl}} (i'' - i) \text{ W} \quad \text{Överförd värmemängd per tidsenhet}$$

Beteckningar enligt ekv 3.2-3.6

Med hjälp av figur 3.1 och ovanstående ekvationer kan följande entalpitabeller uppställas, tabell 3.1-3.2.

Temp °C, spillvatten	Entalpi, kJ/kg, avloppsvatten
+ 14	39
+ 8	25

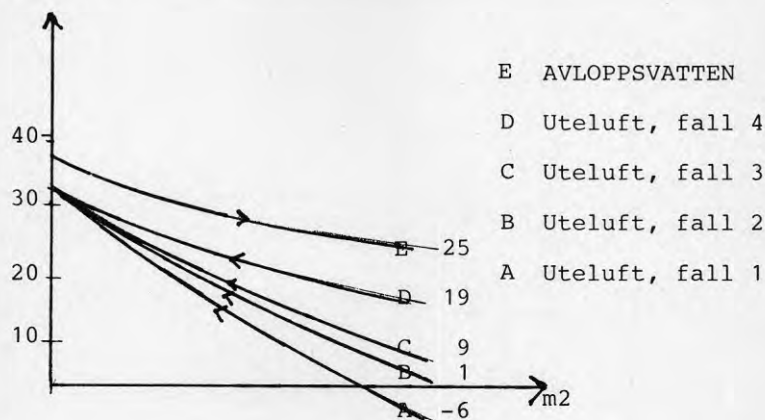
Tabell 3.1. Avloppsvattnets entalpiförändring

Fall	Temperaturökning uteluft, °C	Entalpiökning kJ/kg	Erforderliga luftmängder kg/s
1	- 10 → + 12	- 6 → 34	10/40 = 0,25
2	- 5 → + 12	1 → 34	10/33 = 0,3
3	+ 0 → + 12	9 → 34	10/25 = 0,4
4	+ 5 → + 12	19 → 34	10/15 = 0,67

Tabell 3.2. Uteluftens entalpiförändring respektive erforderliga luftmängder vid en överförd effekt av 10 kW

I figur 3.2 har förloppen åskådliggjort och här har antagits att strömningen sker motströms, vilket liksom vid värmeväxlare är förmånligare.

i kJ/kg



Figur 3.2. Värmeöverföring vid motström mellan avloppsvatten och utluft, fall 1-4

Vi har enligt figur 3.2:

$$i_1 = \frac{5 - 31}{\frac{1}{n} \frac{5}{31}} = 14,3 \text{ kJ/kg}$$

$$i_2 = \frac{5 - 24}{\frac{1}{n} \frac{5}{24}} = 12,1 \text{ kJ/kg}$$

$$i_3 = \frac{5 - 16}{\frac{1}{n} \frac{5}{16}} = 9,5 \text{ kJ/kg}$$

$$i_4 = \frac{5 - 6}{\frac{1}{n} \frac{5}{6}} = 5,5 \text{ kJ/kg}$$

Erforderliga värmeväxlarytor för fall 1-4:

$$A_1 = \frac{10}{20} \frac{10^3}{1000} \frac{10^3}{14,3} = 35,0 \text{ m}^2$$

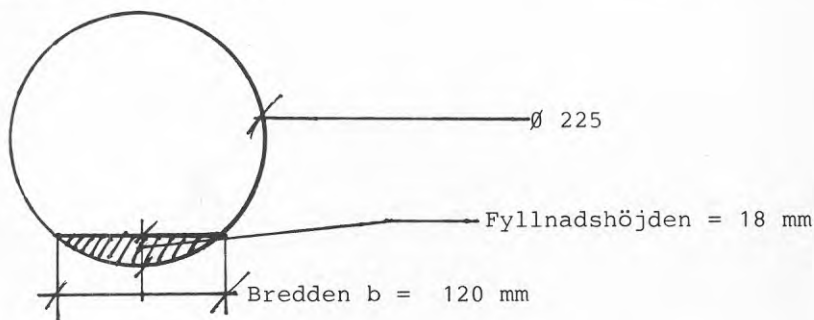
$$A_2 = 41,3 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 52,6 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 90,9 \text{ m}^2$$

Om man i figur 3.1 antar att ledningsdimensionen på sträckan L är \varnothing 225 med lutningen 5 ‰, samtidigt med att flödet är 36 m³/d, fås följande längder på sträckan L.

Ovanstående antagande medför att fyllnadshöjden i ledningen med dimensionen \varnothing 225 blir 18 mm. Detta medför att bredden på den värmeöverförande ytan blir ca 120 mm, figur 3.4.



Figur 3.4. Fyllnadshöjden i \varnothing 225, beräkningsexempel

Erforderliga rörlängder L_1 - L_4 :

$$L_1 = \frac{A}{b} = \frac{35}{0,120} \approx 290 \text{ m } (-10^\circ\text{C} \rightarrow 12^\circ\text{C})$$

$$L_2 = \approx 340 \text{ m } (-5^\circ\text{C} \rightarrow 12^\circ\text{C})$$

$$L_3 = \approx 440 \text{ m } (+0^\circ\text{C} \rightarrow 12^\circ\text{C})$$

$$L_4 = \approx 760 \text{ m } (+5^\circ\text{C} \rightarrow 12^\circ\text{C})$$

Vid en tillämpning av metoden kommer exemplet i figur 3.3 att bli det vanligaste. Detta exempel ger kortare sträckor på L' än vad föregående beräkningsexempel ger, beroende på att avloppsvattenflödet, ur vilket energiuttaget görs, är antaget till 5 ggr större än i exempel 3.2, vilket resulterar i endast 1°C temperatursänkning. Samtidigt erhålls högre fyllnadshöjder. Vi får då följande värden på L' :

$$L'_1 = 170 \text{ m}$$

$$L'_2 = 195 \text{ m}$$

$$L'_3 = 235 \text{ m}$$

$$L'_4 = 310 \text{ m}$$

Med ovanstående värden på L' respektive temperatursänkningen på avloppsvattnet kan energiuttaget ökas från 500 W/hushåll till 1 000 W/hushåll utan att avloppssystemets säkerhet äventyras.

Uppdelas sträckan L' på de anslutna hushållen, erhålls en erforderlig avloppsledningslängd för energiuttaget 10 kW på 10-15 m/hushåll.

Sammanställning

	Uttagbar poten- tial/hushåll	Erf lednings- längder för energiuttaget/ hushåll	Erf luft- flöden/hus- håll
	W	m	m ³ /h
Randområden enligt figur 3.2	500-600	15-35	40-100
Övriga områden och förutsättn enligt figur 3.3	500-1000	10-15	40-100

4 KOSTNADER

Åtgärder för att kunna utnyttja sig av energiåtervinningsmetoden, då avloppsventilationsflödet avses att blandas med fastigheternas frånluftsflöde, begränsas genom att själva systemet (d v s avloppsledningsnätet) redan är befintligt. Vad som krävs i fastigheten är att en frånluftsvärmepump installeras med så pass stor kapacitet, att värmets både ur husets frånluftsflöde och ur avloppsventilationsluften kan upptas.

På avloppsledningssystemet krävs eventuellt någon form av intagspunkter för insläpp av uteluft.

Kostnader för ovanstående åtgärder bedöms för befintliga småhus ligga under 1 500 kr/fastighet. Värdet av den utvunna energin ligger i storleksordningen kring 1 000-1 600 kr/år och fastighet. Sålunda betalar sig investeringen redan första året.

5 SLUTSATS

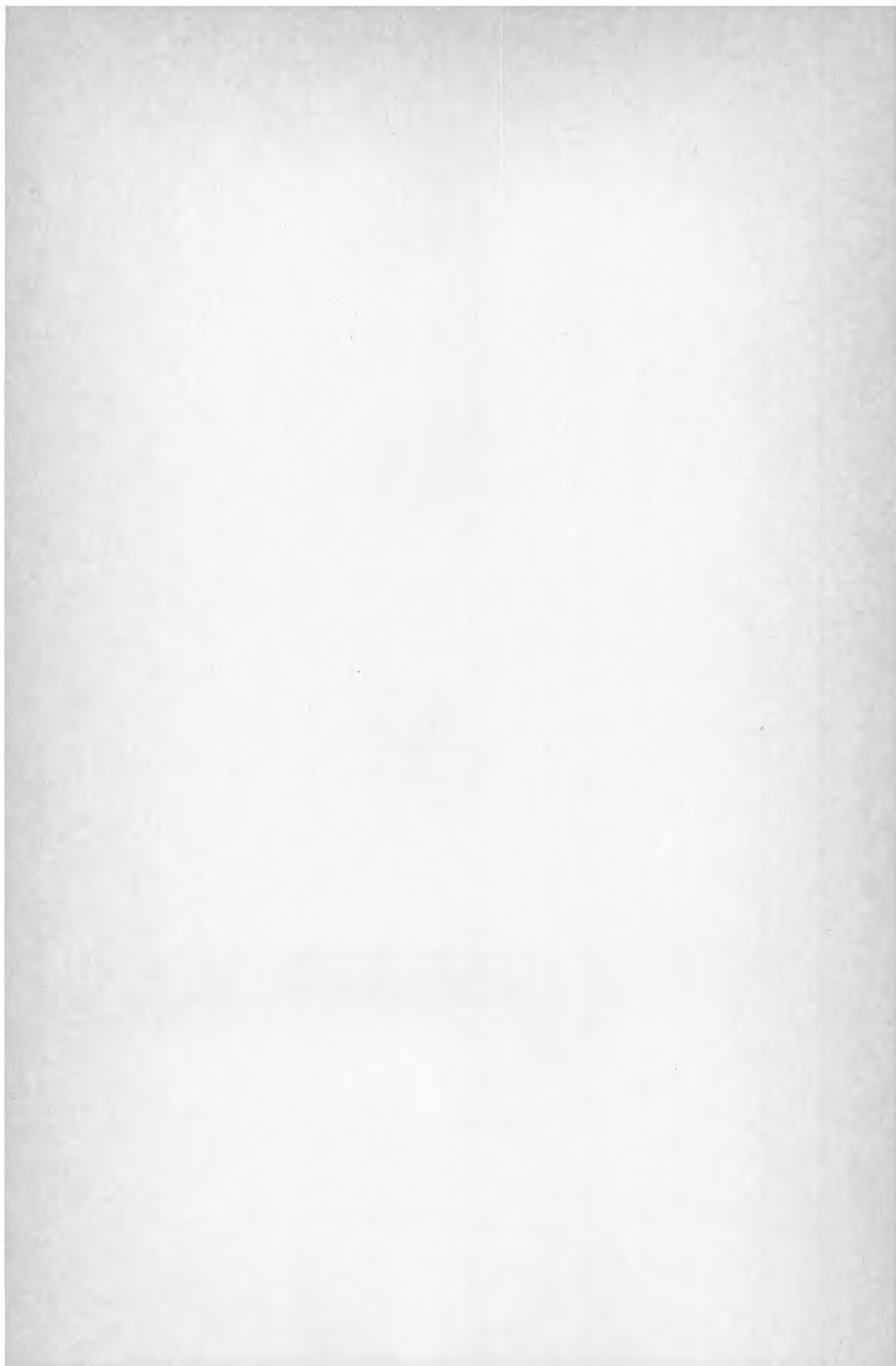
Sannolikt finns en total tillgänglig värmemängd i avloppsledningsnätet av 30 TWh/år. Ca 8-10 TWh/år bedöms teoretiskt vara möjligt att direkt kunna utvinnas, utan att äventyra avloppsledningsnätets säkerhet. Hur mycket energi, som praktiskt respektive utöver denna nivå går att utvinna, får bedömas i en fortsatt studie, då detta kräver praktiska försök.

Energiåtervinningsmetoden innebär att ca 2-3°C av spillvattentemperaturen, som annars går förlorad genom förluster till omgivande mark, självdragsventilation etc, kan tillgodogöras. Denna energimängd motsvarar ca 3 TWh/år och kan med dagens energiåtervinningsmetoder vid avloppsreningsverken sålunda ej återvinnas. Energiåtervinningsmetoden behöver inte komma i konflikt med storskalig återvinning vid avloppsreningsverken, då tillräckligt temperaturspann efter rening finns tillgängligt. I verkligheten kan man räkna med att temperaturspannet i stort sett är oförändrat genom att antalet anslutna fastigheter är betydligt mindre i jämförelse med det totala antalet.

Den teoretiska beräkningen visar på ett positivt resultat och metoden bör därför testas i praktiken, så att de teoretiska antagandena eventuellt kan justeras respektive praktiska detaljer lösas.

6 REFERENSER

- 1 Avloppsvärme
Rapport till NE
K-Konsult 1980
- 2 Avloppsenergi
Studie av att tillvarata avloppsvattnets energi-
innehåll
NE 198:16
- 3 Kommunala Va-ledningar
En analys av dagens situation och FoU-behov
Hans Bäckman m fl
BFR 64:1982





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830362-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till K-Konsult, Stockholm.**

R46: 1984

ISBN 91-540-4116-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704046

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 25 kr exkl moms