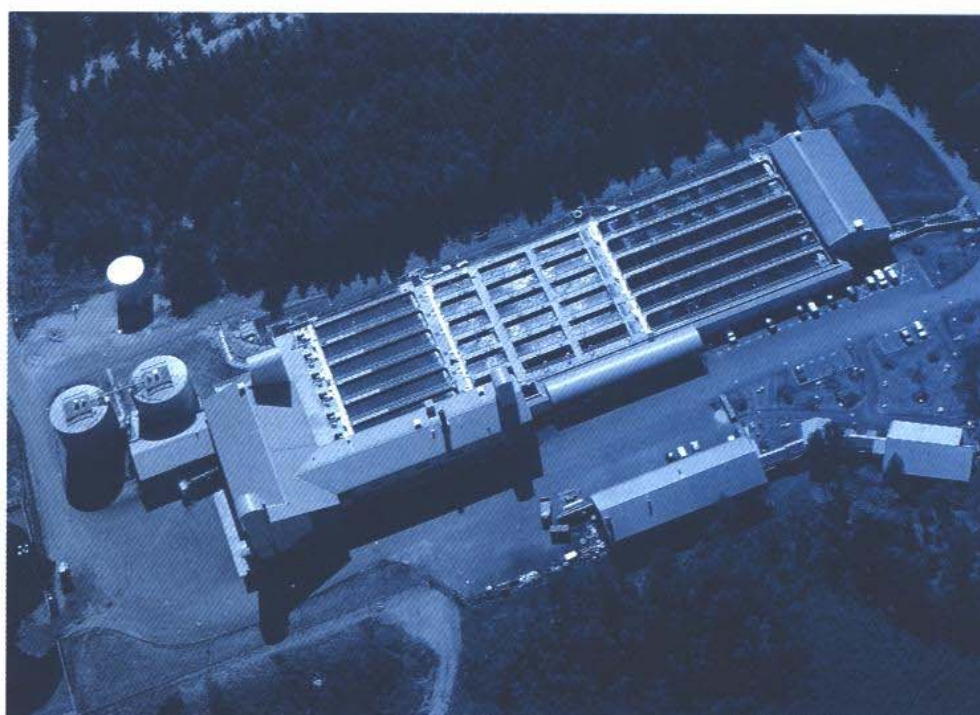


Energihandbok för avloppsreningsverk

Börje J. Kjellén
Ann-Carin Andersson



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Ola Burström, ordförande
Roger Bergström
Bengt Göran Hellström
Staffan Holmberg
Pär Jönsson
Peeter Maripuu
Stefan Marklund
Peter Stahre
Jan Söderström

Skellefteå
Svenskt Vatten AB
Stockholm Vatten AB
Haninge
Östersund
Vaxholm
Luleå
VA-verket Malmö
Sv kommunförbundet

Asle Aasen, adjungerad
Thomas Hellström, sekreterare

NORVAR, Norge
Svenskt Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Energihandbok för avloppsreningsverk
Title of the report:	Energy Handbook for Wastewater Treatment Plants
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2002-2
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-58-8
Författare:	Börje J. Kjellén, Diagnos Tech AB Ann-Carin Andersson, Miljökonsult AC Andersson AB
Utgivare:	Svenskt Vatten AB
VA-Forsk projekt nr:	20-120
Projektets namn:	Energihandbok för avloppsreningsverk
Projektets finansiering:	VA-Forsk
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00 Finns även att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Rapportens omfattning Sidantal:	92
Format:	A4
Upplaga:	1200
Sökord:	Avfuktning, avloppsreningsverk, belysning, blåsmaskiner, bränslen, datasamling, decanter, el, elanvändning, energisparande, energi, energianalys, energianvändning, energibehov, energikriterier, förnybar, grovanalys, luftningssystem, motordrifter, pumpar, pumpdrifter, rötgas, slambehandling, styrning, uppvärmning, ventilation, värme
Keywords:	Acquisition, analysis, air, bio-gas, blowers, compressors, control, criteria, data, dehumidification, electricity, energy, fuels, heating, hydroextractor, lighting, motors, pumps, renewable, saving, sludge, usage, ventilation, wastewater
Sammandrag:	Denna handbok för effektiv energianvändning i avloppsreningsverk är baserad på den tyska energihandboken "Energie in Kläranlagen". Ett urval har gjorts med hänsyn till svenska förhållanden. Handboken behandlar olika anläggningsdelar samt besparingsmöjligheter för effektiv användning av energi, el och värme. I slutet av handboken finns en arbetsmodell för att göra en energianalys av ett reningsverk.
Abstract:	This energy handbook for waste water treatment plants is based on the German handbook "Energie in Kläranlagen". This handbook presents possibilities and measures how to improve efficient utilisation of energy, electricity and fuels. A model is also presented how to make a complete energy audit for a waste water treatment plant.
Målgrupper:	Energibolag, driftpersonal vid kommunala VA-verk, kommunala tekniska förvaltningar, energi- och VA-konsulter
Utgivningsår:	2002
Pris 2002:	275 kr, exkl. moms
Foto:	Bild av Växjö avloppsreningsverk

Sammanfattning

Svenska avloppsreningsverk använder el motsvarande ca 100 kWh/år,pe vilket innebär en total elanvändning av ca 0,6 TWh/år. Svenska vattenverk använder ca 0,7 TWh/år. Den totala elanvändningen i Sverige är på 145 TWh/år. Elanvändningen inom VA-branschen utgör därmed ca 1% av Sveriges elanvändning. Denna ökar också både inom branschen och i riket i stort.

För mindre och medelstora kommunala avloppsreningsverk är den specifika elanvändningen i medeltal är ca 90 kWh/år,pe dvs ca dubbelt så hög som den elanvändning som gäller för tyska reningsverk. Dessa är som regel större än i Sverige, men det tyder ändå på att det finns en tydlig potential för effektivare elanvändning bland svenska reningsverk. Detta gäller speciellt mot bakgrund av att man konstaterat att det finns möjlighet till ca 35 % effektivare elanvändning genom lönsamma åtgärder för de tyska reningsverken dvs till en elanvändning av ca 30 kWh/år,pe.

Handboken behandlar olika anläggningsdelar samt besparingsmöjligheter på el och på värme. I slutet av handboken finns en arbetsmodell för att göra en energianalys på reningsverk.

De flesta avloppsreningsverken är byggda under 60-, 70- och 80-talen. En stor mängd utrustning har hög ålder och måste bytas ut. Detta gör det möjligt att samtidigt realisera åtgärder för en effektivare energianvändning. Driftkostnaderna kan skilja på en faktor tre mellan gammal utrustning och väl anpassad modern utrustning

Elbehovet för ett reningsverk med rötning är som regel av samma storleksordning som värmebehovet. Då de flesta reningsverk praktiskt taget kan täcka sitt värmebehov med egen rötgas, är behovet av energi utifrån väsentligt större på elsidan. Den specifika förbrukningen är högre för reningsverk med kväverening än för reningsverk utan kväverening.

På reningsverk är det vanligast med många små motorer. Men dessa har en oväsentlig del av totala elanvändningen för motordrifter. Ansträngningar för att realisera elbesparingar skall därför inriktas på de större motordrifterna. Exempelvis så svarar de 20 största motorerna vid ett reningsverk ofta för ca 75 % av den totala elförbrukningen.

Den biologiska reningen svarar för 50- 80% av den totala elanvändningen för ett reningsverk och är därmed som regel ansvarig för mer än hälften av energikostnaderna. Vid en energianalys måste det biologiska reningssteget därför alltid få särskild uppmärksamhet.

Rötgasproduktion är hjärtat i anläggningen på värmesidan. Men energieffektivisering lönar sig endast då man köper bränslen eller värme utifrån och som medför kostnader. Värmebehovet kan reduceras genom t ex öka TS-halten i slammet, värmeisolera rötkammaren och minska ventilationsförluster i anläggningen.

Summary

The consumption of electricity in Swedish wastewater treatment plants is about 100 kWh/year, unit. The total consumption of electricity is about 0,6 TWh/year in this sector. The municipal water plants in Sweden use about 0,7 TWh/year electricity. The total consumption of electricity is about 145 TWh/year in Sweden. Water and wastewater plants are therefor responsible for about 1 % the total consumption of electricity in Sweden. The demand for electricity is also increasing in this sector and in the country as a whole.

This energy handbook is based on the German handbook "Energie in Kläranlagen" and presented data are based on a large number of municipal wastewater treatment plants in Nordrhein-Westfalen, in Germany.

The specific consumption of electricity is about ca 90 kWh/year, unit for small and medium sized wastewater treatment plants in Sweden. It means about twice the consumption of electricity in German plants. These are normally larger than the plants in Sweden, but still it seems there is a substantial potential for more efficient utilisation of electricity in Swedish wastewater plants. This is especially true when taken into account that about 35 % energy savings have been identified from profitable measures in German plants. The specific consumption can then be reduced to about 30 kWh/year, unit.

The handbook covers different process parts and various possibilities for energy savings, both electricity and heat. A model is also presented how to make an energy audit for a wastewater plant.

Most of the wastewater plants in Sweden were constructed during the 1960-, 70- and 80-ties. A large amount of equipment is therefore old and has to be exchanged. Then measures can be made simultaneously to reduce utilisation of energy. The operating costs for old equipment can be three times higher than for modern and well-adapted equipment.

The consumption of electricity at wastewater plants with sludge digestion is generally of the same order as the heating demand. Practically most plants can cover their heating demand by firing bio-gas, which is produced within the plant. The energy demand to be supplied from outside is therefore much larger on the electricity side. The specific electricity consumption is generally higher for wastewater plants with a nitrogen purification process than for plants without such process.

At wastewater plants many small electric motors can be found. However they have only a small share of the total consumption of electricity for motor operation. To realise concrete energy savings, efforts should therefore be directed to analyse the operation of large electric motors. For example the 20 largest motors are responsible for about 75 % of the total consumption of electricity in a wastewater plant.

The biological purification process is responsible for 50- 80% of the total consumption of electricity. Therefore special attention should be directed to study the biological purification process when an energy audit is made.

The production of bio-gas is the heart of the matter when heating is concerned. But heat savings are only of interest when fuels or heat are supplied from outside at a cost. Increasing the amount of solid substances in the sludge can reduce the heat demand. It can also be reduced by heat insulation of the digestion chamber and by reducing ventilation losses in the plant.

Förord

Svenska avloppsreningsverk använder el motsvarande ca 100 kWh/år,pe vilket innebär en total elanvändning av ca 0,6 TWh/år. Svenska vattenverk använder ca 0,7 TWh/år. Den totala elanvändningen i Sverige är på 145 TWh/år. Dvs elanvändningen inom VA-branschen utgör ca 1% av Sveriges elanvändning. Denna ökar också både inom branschen och i riket i stort.

Denna handbok för effektiv energianvändning i avloppsreningsverk är baserad på den tyska energihandboken "Energie in Kläranlagen", som är producerad av Ministeriet för miljö (MUNLV) i NRW, . Nordrhein-Westfalen, i Tyskland. I denna har utvärderats uppgifter från 344 av totalt 900 kommunala reningsverk i NRW. Den tyska energihandboken är mycket omfattande och i samband med en översättning av materialet har även gjorts en sammanfattning av innehållet och ett urval med hänsyn till svenska förhållanden.

Det finns stora likheter mellan reningsverk i Sverige och i Tyskland men också vissa tydliga skillnader. Generellt gäller att de tyska reningsverken i allmänhet är större än de svenska. I handboken används ofta uppgifter på energianvändning för en typlanläggning för 100 000 pe med modern utrustning. Trots att det är få svenska reningsverk som är så stora, är dessa uppgifter praktiska att använda för att göra jämförelser. Det är lätt att dividera med 100 000 och sedan multiplicera med det egna aktuella pe-talet. Underlaget kan därmed användas som ett nyckeltal med målsättning för energianvändningen i det egna reningsverket. Detta innebär att energianvändningen för små reningsverk även efter effektivisering, kommer att vara något högre än vad som kan utläsas av dessa nyckeltal.

En stor skillnad är de väsentligt högre elpriser som gäller i Tyskland. Detta har gjort att framställningen i huvudsak koncentreras på åtgärder för effektivare elanvändning.

I Tyskland är egen kraftproduktion i ett kraftvärmeblock baserad på rötgas en prioriterad och lönsam åtgärd. I Sverige är bassänger ofta inbyggda och värmebehovet därmed något större än för tyska reningsverk. Värmen används för att undvika problem med dimma och kondensation i lokaler med öppna bassänger. Värmebesparande åtgärder är som regel endast motiverade då fossila bränslen eller extern värmeförsörjning erfordras för att täcka reningsverkets värmebehov.

Representanter för ett flertal kommunala reningsverk i Södra Sverige har granskat innehållet i denna handbok och givit värdefulla synpunkter för att få en praktiskt energihandbok för svenska reningsverk. Vi vill då särskilt tacka Jenny Singman vid Varbergs kommun, Ingemar Dellien vid Lunds kommun, Lars Hakeman och Jerry Isaksson vid Jönköpings kommun samt Lars Thysell vid Trelleborgs kommun för betydelsefulla bidrag.

Ann-Carin Anderson
Miljökonsult A C Andersson AB

Börje J. Kjellén
Diagnos Tech AB

Innehåll	Sida
1. AVLOPPSRENINGSVRKET SOM ENERGIANVÄNDARE	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Ålder på utrustning	1
1.1.2 Belastning av reningsverk	1
1.1.3 Reningsmetodens betydelse	2
1.2 Specifik energianvändning	3
1.2.1 Energibalans	3
1.2.2 Statistik för reningsverk i NRW, Tyskland	4
2. METODTEKNISKA ENERGISPARANDE ÅTGÄRDER	5
2.1 Reningsmetodens betydelse	5
2.1.1 Grundläggande teknik	5
2.1.2 Dimensionering för små förluster	6
2.1.3 Planeringshorisont för dimensionering	7
2.2 Det biologiska reningssteget	8
2.2.1 Huvudreaktioner	8
2.2.2 Energibehov för luftning	8
2.2.3 Energibehov för omrörning	9
2.2.4 Dimensionering av luftningssystem	10
Ytluftare	10
Blåsmaskiner	12
Val av blåsmaskiner	14
2.2.5 Optimering av luftinblåsningssystem	14
2.2.6 Reglering av syretillförseln	18
Styrning av kapacitet för ytluftare	19
Styrning av kapacitet för blåsmaskiner	19
2.2.7 Omrörning av luftningsbassäng	20
2.3 Pumpar och pumpdrifter	23
2.3.1 Olika slags pumpar	23
2.3.2 Elbehov för lyftande pumpar	24
2.3.3 Pumpar för primärslam	26
2.3.4 Pumpar för returslam	26
2.3.5 Pumpar för överskottsslam	26
2.4 Slambehandling	27
2.4.1 Minskad volym betyder mindre energibehov	27
2.4.2 Förtjockning	28
2.4.3 Reduktion av slamvolym	29
2.4.4 Rötning av slam - slamstabilisering	33
2.4.5 Torkning av slam	35

3. ÅTGÄRDER FÖR EFFEKTIVARE ELANVÄNDNING	36
3.1 Allmänna råd	36
3.2 Motordrifter	37
3.2.1 Drivsystem	37
3.2.2 Motorer vid reningsverk	38
3.2.3 Motordrifter med konstant varvtal	39
3.2.4 Dimensionering av motorer	41
3.2.5 Styrning av varvtalet	43
3.3 Övrig elförbrukning	45
3.3.1 Effektiv belysning	45
3.3.2 Effektiv ventilation/avfuktning	46
3.3.3 Övrig elutrustning och apparater	47
3.4 Styrning och reglering	48
3.4.1 Uppgifter	48
3.4.2 Datasamling av energianvändning	48
3.4.3 Styrning av luftningsanläggning	49
3.4.4 Praktiska tips för styrning av reningsverk	50
4. ENERGISPARANDE ÅTGÄRDER PÅ VÄRMESIDAN	52
4.1 Allmänna råd	52
4.2 Processvärme	53
4.2.1 Uppvärmning av slam och av rötkammare	53
4.2.2 Effektiviserande åtgärder	55
4.2.3 Elektrisk uppvärmning	55
4.3 Värmeproduktion	56
4.3.1 Teknik med rökgaskondensering	56
5. ANVÄNDNING AV FÖRNYBAR ENERGI	57
5.1 Energibärare till förfogande	57
5.2 Rötgas	58
5.2.1 Produktion av rötgas	58
Optimal drift av rötgasanläggning	60
Samrötning	61

5.3 Värme ur renat avloppsvatten	61
5.4 Vattenkraft	62
5.5 Vindenergi	62
5.6 Solenergi för reningsverk	63
 6 ARBETSMODELL FÖR ENERGIANALYS	 64
6.1 Allmänna råd	64
<i>6.1.1 Målet för en optimering av energianvändningen</i>	<i>64</i>
<i>6.1.2 VA-ansvarig tar beslut</i>	<i>64</i>
6.2 Grovanalys	65
<i>6.2.1 Mål</i>	<i>65</i>
<i>6.2.2 Genomförande</i>	<i>65</i>
 6.3 Detaljanalys	 67
<i>6.3.1 Mål - Finanalysen som beslutsunderlag</i>	<i>67</i>
<i>6.3.2 Start – igångsättning</i>	<i>67</i>
<i>6.3.3 Insatser och arbetsplanering</i>	<i>69</i>
<i>6.3.4 Investeringar för energieffektivisering</i>	<i>70</i>
 Bilaga 1 Energikriterier	 71
Bilaga 2 Grov - och detaljerad energianalys	73
Bilaga 3 Svenska referenser för effektiv energianvändning	81

1. AVLOPPSRENINGSVERKET SOM ENERGIANVÄNDARE

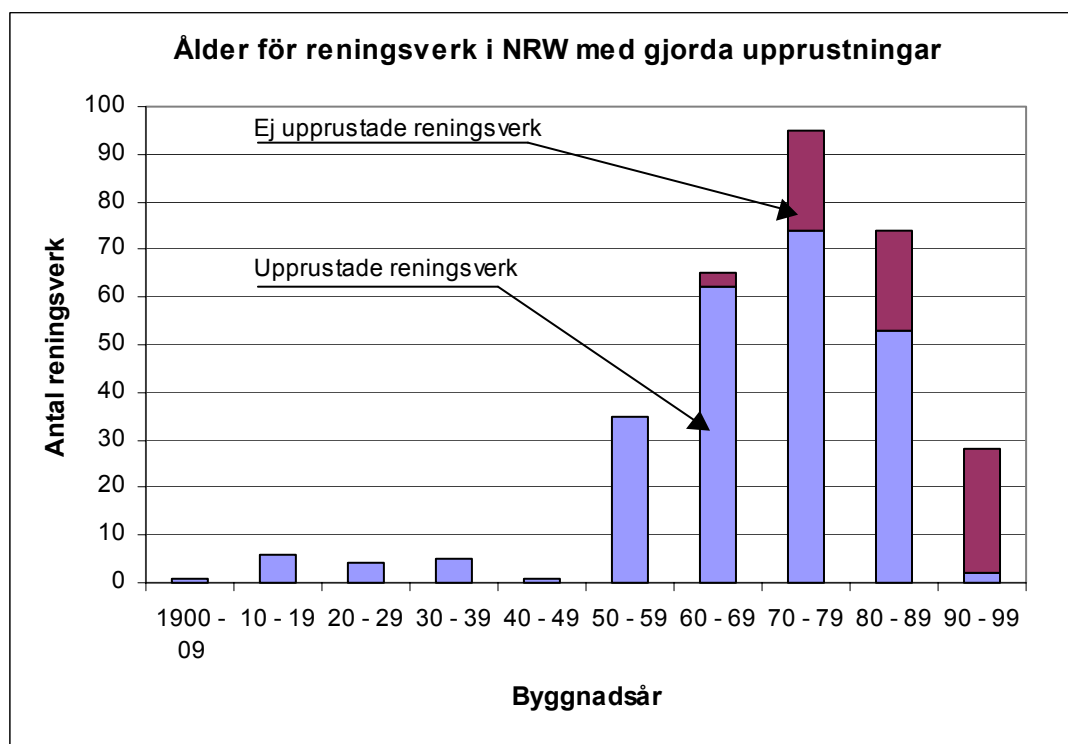
1.1 Bakgrund

1.1.1 Ålder på utrustning

De flesta avloppsreningsverk är byggda under 60-, 70- och 80-talet. Många av de äldre verken har under tiden blivit förnyade. En stor mängd utrustning till olika anläggningsdelar byts ut beroende på sin ålder. Detta gör det möjligt att samtidigt realisera åtgärder för en effektivare energianvändning.

Motorer måste förnyas inom en tidsram av 10-15 år och byggnadsdelar inom en ram av 20-30 år. Ett sådant behov av förnyelse finns vid de flesta reningsverk där motordrivna anläggningsdelar är äldre än 10-15 år.

För svenska förhållanden gäller att motordrivna anläggningsdelar ofta t o m kan vara äldre än 15-20 år.



Figur 1-1 Ålder för tyska reningsverk i NRW och andelen som gjort upprustningar

1.1.2 Belastning av reningsverk

Beroende på belastning av ett reningsverk ges flera möjligheter till energieffektivisering.

I underbelastade reningsverk finner man ofta överdimensionerade luftningsanläggningar och överdimensionerade pumpar med motorer som därför drivs med låg verkningsgrad.

Vid överbelastade reningsverk måste en utbyggnad prövas, som då erbjuder en möjlighet till en systematisk genomgång av hela anläggningen för att samtidigt passa på att effektivisera energianvändningen.

1.1.3 Reningsmetodens betydelse

Valet av behandlingsmetod för avloppsvatten och slam har tydligt inflytande på energianvändningen. Möjligheter till val av reningsmetod finns dock endast då det gäller en utbyggnad eller en upprustning av en reningsanläggning. Därvid måste hänsyn alltid tas till reningskraven, speciellt de som kan leda till högre energianvändning. Detta förhållande gäller t ex vid kväverening eller filtrering.

Ett stort betydelse för energianvändningen har vilken slags slamstabilisering som används. Aerob slamstabilisering ger dubbelt så höga energikostnader jämfört med anläggningar som stabiliserar genom anaerob rötning. Detta beror både på att den aeroba stabiliseringen av slam har en högre specifik elanvändning och att den inte producerar någon egen energi i form av rötgas.

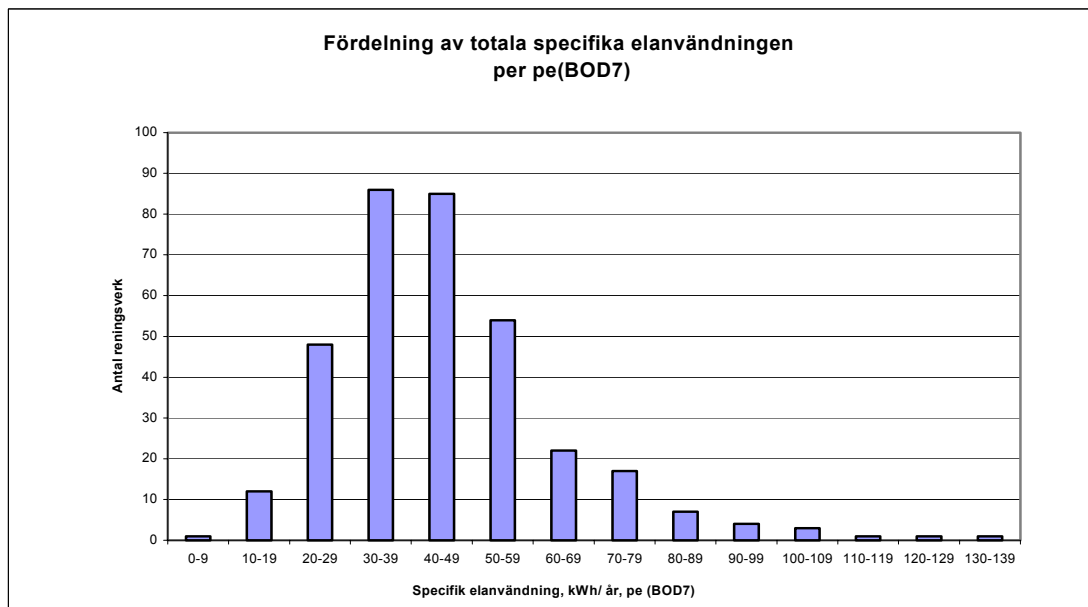
1.2 Specifik energianvändning

1.2.1 Energibalans

Elbehovet för ett reningsverk med rötning är som regel av samma storleksordning som värmebehovet. Då de flesta reningsverk praktiskt taget kan täcka sitt värmebehov med egen rötgas, är behovet av energi utifrån väsentligt större på elsidan. Den specifika förbrukningen är högre för reningsverk med kväverening än för reningsverk utan kväverening. Spridningen är emellertid mycket stor mellan anläggningar med jämförbar utrustning.

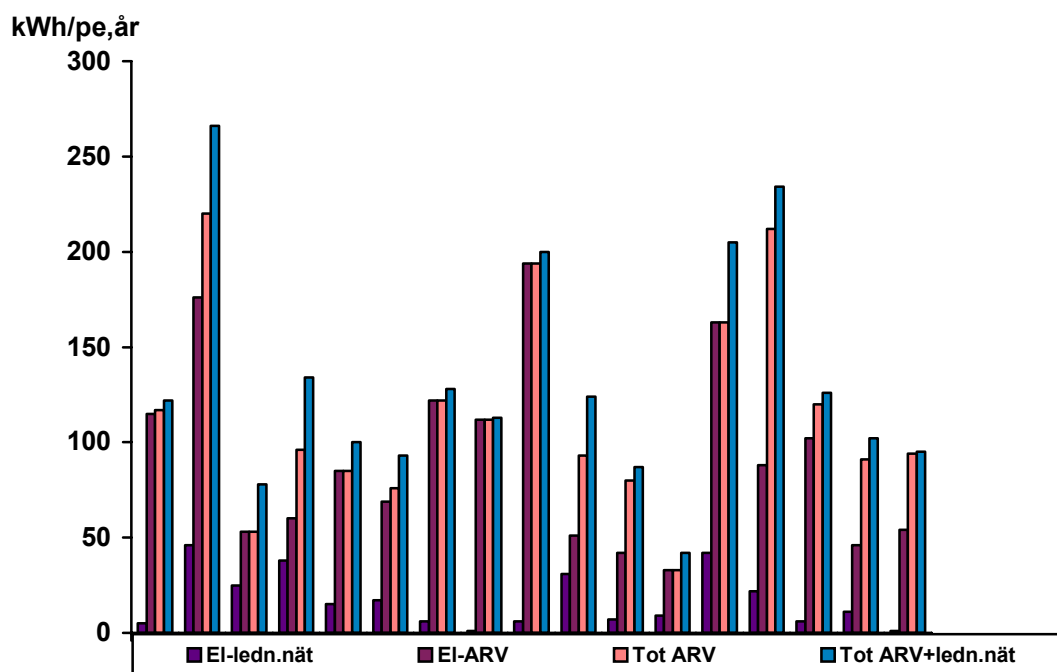
Erfarenheter från kommunala reningsverk i NRW i Tyskland visar att för reningsverk med rötning är det specifika elbehovet i medeltal ca 45 kWh/år, pe. Värmebehovet är i medeltal också ca 45 kWh/år, pe. Hälften av reningsverken täcker sitt värmebehov helt med egen produktion av biogas/rötgas.

Den specifika elförbrukningen sjunker med ökande storlek på reningsverk. Den genomsnittliga elförbrukningen är ca 45 kWh/år, pe och värmebehovet är i medeltal också ca 45 kWh/år, pe för tyska reningsverk.



Figur 1-2 Fördelning av totala specifika elanvändningen per BOD7 vid reningsverk i NRW, Tyskland

Den specifika elanvändning för några avloppsreningsverk visas i figur 1-3 för några sydsvenska kommuner. Observera att i denna figur redovisas fyra olika staplar representerande elanvändning för ledningsnät, elanvändning för reningsverket, total energianvändning för reningsverket samt total energianvändning för reningsverk och ledningsnät. Det framgår att den specifika elanvändningen i medeltal för dessa verk är ca 90 kWh/pe,år (se stapeln för "EI-ARV" i figur 1-3), dvs ca dubbelt så hög som den elanvändning som gäller för tyska reningsverk. Reningsverken i Tyskland är som regel större än i Sverige, men det tyder på att det ändå finns en rejäl potential för effektivare elanvändning bland svenska reningsverk. Detta gäller speciellt mot bakgrund av att man konstaterat att det finns möjlighet till ca 35 % effektivare elanvändning genom lönsamma åtgärder för de tyska reningsverken.



Figur 1-3 Specifik elanvändning för några sydsvenska reningsverk

1.2.2 Statistik för reningsverk i NRW, Tyskland

Nedanstående tabell visar en sammanställning av statistik för reningsverk i NRW, Tyskland och ger en överblick av energianvändningen.

	Enhet	75%- värde	50 %- värde	25 %- värde
Anläggningsdata:				
Pe _{BOD7} (aktuell belastning)	pe	53000	24000	12000
Pe utbyggnad	pe	78000	37000	18000
Medelbelastning pe _{BOD7} mot pe utbyggnad	%	87 %	71 %	54 %
Byggnadsår	-	1981	1974	1965
Ombyggnad/utbyggnad/upprustning	-	1996	1993	1989
Höjdskillnad uppfordringspumpar	m	7.0	4.2	0
Mängd avloppsvatten	l/pe,d	342	246	184
BOD ₇ -koncentration tillförsel	mg/l	386	277	211
Energianvändning:				
Spec. elanvändning totalt per pe _{BOD7}	kWh/pe,år	63	48	37
Spec värmeanvändning per pe _{BOD7} (alla verk)	kWh/pe,år	61	40	25
- " - " - (endast anläggningar med rötning)	kWh/pe,år	70	53	36
Utnyttjande av rötgas:				
Egenförsörjningsgrad för el (anläggning med rötning)	%	33 %	0 %	0 %
Egenförsörjningsgrad för värme	%	100 %	98 %	82 %
Produktion av rötgas per org TS	l/kg oTS	570	470	370
Andel som facklas	%	34 %	15 %	0 %
Specifik produktion av rötgas per pe _{BOD7}	l/pe, d	37	29	23

Tabell 1-4 Statistik för 344 avloppsreningsverk med 30.5 miljoner pe i NRW

Uppgifter för biologisk belastning har räknats om från BOD5 till BOD7
(BOD7 = 1.17 * BOD5).

Utgångspunkten för denna handbok är att reningsverket primärt måste klara sin huvuduppgift att rena avloppsvatten, men samtidigt ha en så liten miljöbelastning som möjligt motsvarande en så liten användning av energi, dvs el och fossila bränslen, som möjligt.

2. METODTEKNISKA ENERGISPARANDE ÅTGÄRDER

2.1 Reningsmetodens betydelse

2.1.1 Grundläggande teknik

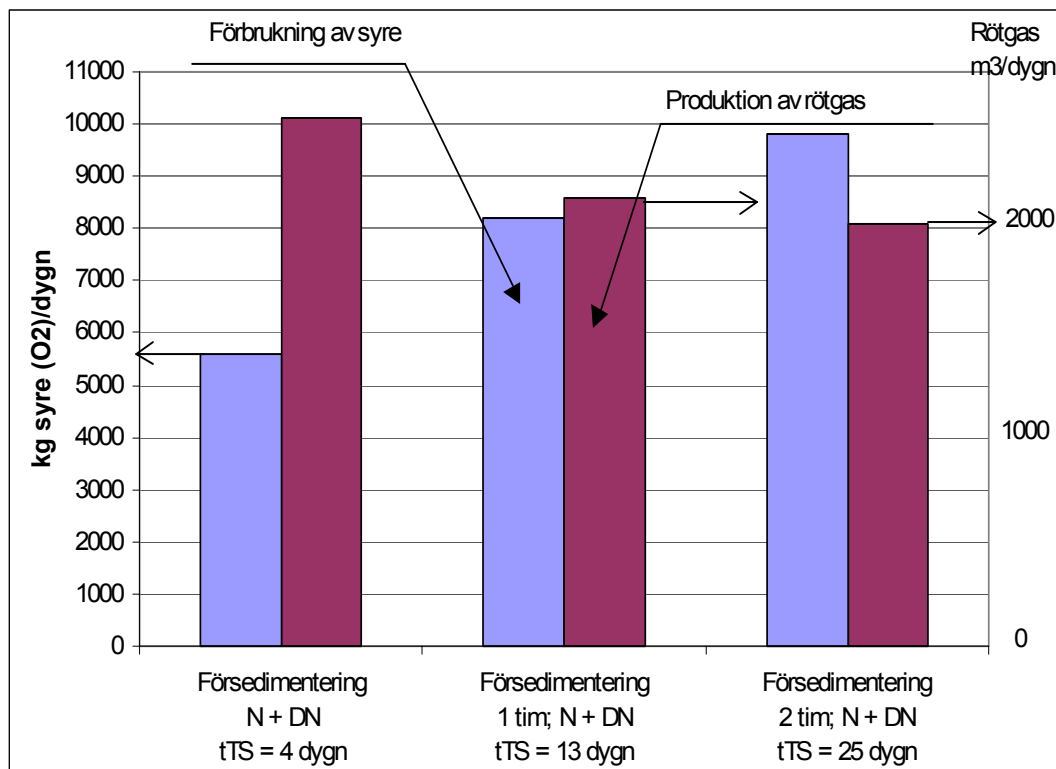
Det biologiska reningssteget är den största energianvändaren för varje modernt reningsverk. Försedimenteringen har också en stor betydelse på energibalansen för reningsverket eftersom den påverkar tillflödet till det biologiska reningssteget och tillflödet av slam.

Generellt gäller att energiförbrukningen för ett verk med kväverening är tydligt högre än den som gäller för en anläggning med endast biologisk rening. Orsaken till detta är framför allt det större luftbehovet i luftningsbassänger samt kravet på att återcirkulera avloppsvatten.

Målet för en energioptimal planering måste vara att så långt som möjligt reducera den aeroba nedbrytning av tillförda biologiska föreningar i luftningsbassängen. Följande möjligheter står då till förfogande:

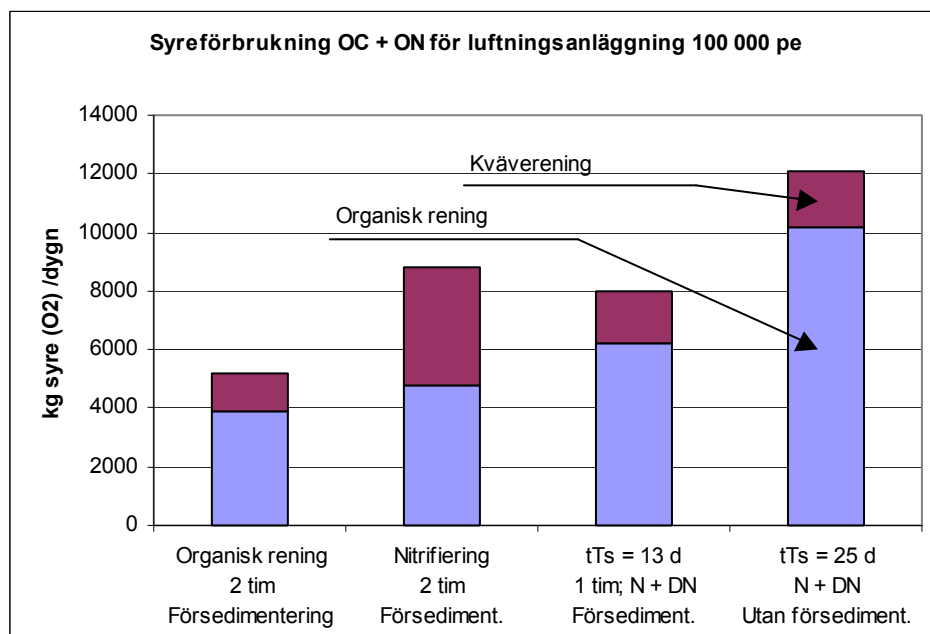
- Skapa så hög nedbrytning av COD i försedimenteringen som möjligt
- Ha en så låg slamålder som möjligt

Båda möjligheterna kan dessutom förbättra energibalansen genom att höja mängden torrsubstans i råslam och som därefter omsätts till rötgas.



Figur 2.1 Inflytande av slamålder t_{TS} på energibalansen. Låg slamålder ger liten luftförbrukning och hög rötgasproduktion

Från energisynpunkt skall man inte avstå från försedimentering. En fördel vid stora anläggningar, är att dela upp försedimenteringsvolymen i flera enheter. Vid brist på organiska föreningar i denitrifikation kan vissa enheter tas ur drift.



Figur 2-2 Inflytande av försedimentering på energibalansen.

2.1.2 Dimensionering för små förluster

Vid hydraulisk strömning finns förluster beroende på friktion, som hindrar eller bromsar flödet. Friktionsförluster måste övervinnas genom tillförsel av energi till pumpar. Vid dimensionering av en anläggning, som ständigt skall vara i drift, gäller det att minimera dessa friktionsförluster för att få en effektiv energianvändning. Förluster i form av friktionstryckfall i rör beräknas enligt följande ekvation:

$$\Delta p_f = f \cdot L/d \cdot w^2/2g$$

där Δp_f = friktionstryckfall (Pa, N/m²)
 f = friktionskoefficient
 L = rörlängd
 d = rördiameter
 w = strömningshastighet (m/s)
 g = jordacceleration (9.81 m/s²)

Genom att närmare studera sambandet för friktionsförluster, kan vinnas en ökad förståelse för vad som är viktigt för att få en anläggning med små förluster.

Dubbla parametern

Friktionskoefficient, f
 längd, L
 rördiameter, d
 strömningshastighet, w

Effekt på friktionsförluster

dubblad
 dubblad
 halverad
 fyrdubblad

Men observera att vissa av dessa parametrar är beroende av varandra och att förändringar därmed kan bli mycket dramatiska. Låt oss till exempel anta att vattenflödet är konstant. Om rördiametern fördubblas, så kommer strömningssarean att fyrdubblas. Strömningshastigheten reduceras därmed med en faktor fyra vid konstant volymflöde. Faktorn $w^2/2g$, det "dynamiska trycket", kommer då att

reduceras med en faktor 16 jämfört med det ursprungliga fallet. Detta förhållande samt att rördiametern även finns med som divisor (under bråkstrecket) gör att friktionstryckfallet kommer att reduceras med en faktor 2^5 dvs med **32**.

Vid en fördubblad rördiameter och konstant flöde av avloppsvatten eller slam, kommer friktionstryckfallet reduceras med en faktor 32, dvs med ca 97 %.

2.1.3 Planeringshorisont för dimensionering

Anläggningar för rening av avloppsvatten planeras och byggs för en tidshorisont av 20 till 30 år. Installerade maskiner som påverkar driftkostnaderna har dock en väsentligt kortare utnyttjningstid, 10 till 15 år. För effektiv drift måste dessa maskiner dimensioneras med hänsyn till sin utnyttjningstid och inte efter kommunens förväntade storlek någon gång i framtiden. Om maskinerna, som tyvärr ofta är fallet, dimensioneras efter belastningen för utbyggnadsmålet, kommer de vara kraftigt överdimensionerade under hela sin livslängd. Därmed får de en låg verkningsgrad och en hög elanvändning under hela sin utnyttjningstid.

Exempel:

Ett reningsverk projekterades för en period av 25 år och för en starkt ökande belastning för både invånartal och industriellt avloppsvatten. Till varje eftersedimenteringsbassäng installerades en returslampump, dimensionerad efter utbyggnadsmålet. Dessa pumpar styrs efter mängden avloppsvatten. Detta medför att även i slutet av pumpens livstid kommer pumpen, trots det stora reglerområdet 20 - 100 %, ha en mycket för stor kapacitet. Pumparna arbetar mestadels i en ogynnsam driftpunkt som resulterar i en låg verkningsgrad.

Den verkliga belastningen har blivit betydligt mindre än vad som prognosticerats. Belastningen är ofta så liten, att pumparna t o m vid sitt minsta flöde alltid transporterar för mycket returslam, så att de därigenom även orsakar driftproblem.

Förslag till lösning

De gamla stora pumparna förblir i drift och blir vardera kompletterade med en mindre varvtalsstyrd pump med hög pumpverkningsgrad. De mindre pumparna får täcka grundlasten (tillflödet vid nattminimum upp till dagsmaximum vid torrt väder). De stora pumparna kopplas endast in vid topplast och vid regnväder.

Beroende på vilken nivå av "underlast" som gäller lönar det sig t o m att byta nuvarande centrifugalpumpar. Om returslammet förs tillbaka endast med en pump, skall det principiellt ske med en varvtalsstyrd pump. I jämförelse med strypreglering kan energibehovet då minskas med upp till 50 %.

Resultat från effektivisering av elanvändning

Ursprunglig installation:	pumpverkningsgrad 0.45	90 000 kWh/år
Ny installation	: pumpverkningsgrad 0.75	50 000 kWh/år

Elbesparing 40 000 kWh/år
(dvs 44 % besparing av både effektbehov och elanvändningen)

Maskiner måste dimensioneras med hänsyn till den belastning som gäller under utnyttjningstiden och inte efter den framtida belastningen, dvs målet för utbyggnaden av reningsverket.

2.2 Det biologiska reningssteget

Som biologiskt reningssteg används som regel en eller flera luftningsbassänger. Som alternativ finns olika biofilter till förfogande.

Den biologiska reningen svarar för 50- 80% av den totala elanvändningen för ett reningsverk och är därmed ansvarig för mer än hälften av energikostnaderna. Vid en energianalys måste det biologiska reningssteget därför få särskild uppmärksamhet

2.2.1 Huvudreaktioner

Följande huvudreaktioner äger rum vid biologisk rening:

- **Eliminering av organiskt material**

En mängd heterotrofa mikroorganismer omvandlar organiska föreningar till koldioxid CO_2 och biomassa. För en luftningsanläggning med försedimentering, nitrifikation och denitrifikation med en slamålder av 13 dagar blir omkring 52 % av den tillförda mängden COD omvandlad till CO_2 och ca 39 % bryts ner till överskottsslam. Ca 9 % lämnar luftningsbassängen vid utloppet. Andelen av COD som oxideras till koldioxid och därmed förbrukar syre och energi växer med stigande slamålder.

- **Nitrifikation**

Kvävet som finns i avloppsvatten till reningsverket består till 50 - 80 % av ammoniumkväve $\text{NH}_4\text{-N}$ och mellan 20 och 50 % av organiskt kväve. Båda kvävekomponenterna oxideras i luftningsbassängen vid en tillräckligt hög slamålder till nitratkväve $\text{NO}_3\text{-N}$. Därvid behövs 4.6 g O_2 per g $\text{NH}_4\text{-N}$. De bakterier som skapar nitrifikation, utvecklas långsammare än heterotrofa mikroorganismer. Därför erfordras en högre slamålder vid nitrifikation än vid nedbrytning av organiskt material. Detta resulterar i sin tur i ett högre behov av syre och energi.

- **Denitrifikation**

Under anoxiska förhållanden, dvs frånvaro av löst syre, kan talrika heterotrofa mikroorganismer använda nitratsyre för sin andning i stället för löst syre. Därvid blir nitrat reducerat till molekylärt kväve, som strömmar ut i atmosfären. En förutsättning är frånvaron av nedbrytningsbart organiskt material. Vid denitrifikation frigörs 1.7 g O_2 per g $\text{NO}_3\text{-N}$ för nedbrytning av organiskt material. Elanvändning erfordras som regel också för drift av omrörningsaggregat till denitrifikationsbassäng och till pumpar för recirkulation.

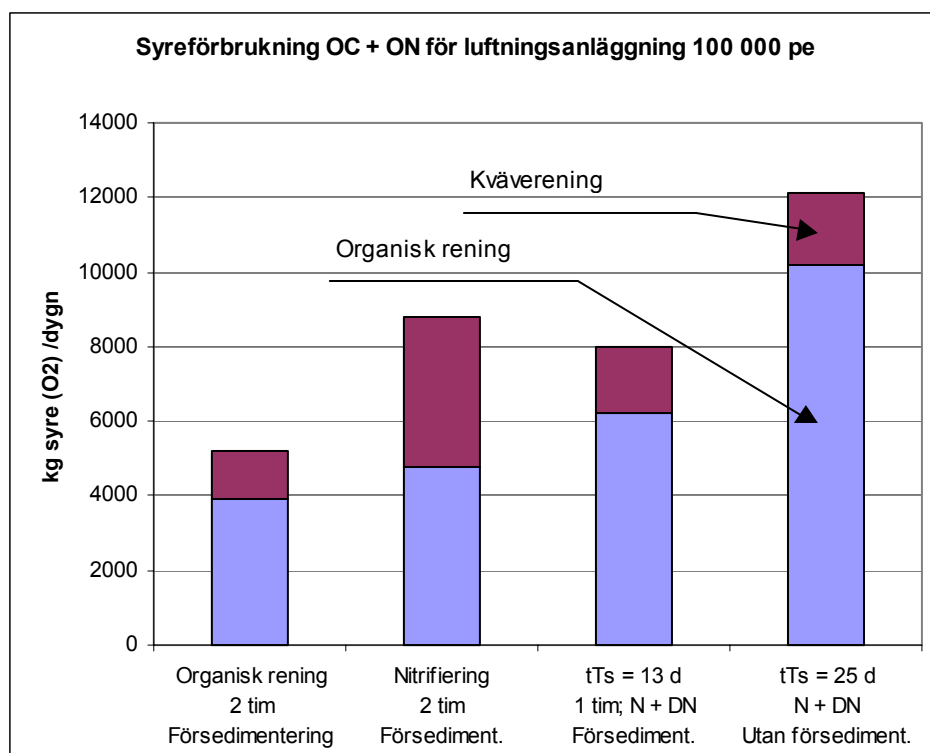
2.2.2 Energibehov för luftning

Blåsmaskiner för luftning svarar för den största enskilda elanvändningen vid ett reningsverk. Syreförbrukningen i förhållande till slamålder och genomflödestiden i försedimenteringen, visas i figur 2-3 för ett reningsverk för 100 000 pe.

Energibehovet för det biologiska reningssteget kan påverkas på olika sätt:

- Elförbrukningen påverkas framför allt genom styrning av lufttillförsel via syrehaltsmätare.
- Anpassning av lufttillförseln under perioder med låg belastning, t ex under nätter och sommartid.

Anm. Ett reningsverk med sk gemensam aerob stabilisering, har upp till 50 % högre elförbrukning än ett reningsverk med försedimentering och rötkammare.



Figur 2-3 Förbrukning av syre för olika slag av luftningsanläggningar, 100 000 pe

Exempel: Luftningsanläggning med kväverening för ett modernt tyskt reningsverk, 100 000 pe.

Beräkningar enligt tysk handbok visar att syrebehovet för rening av organiskt material är $OR_C = 6.49 \text{ kg/dygn}$.

Förbrukningen av syre för nitrifikation med hänsyn till en viss tillförsel av syre genom denitrifikation har beräknats till $OR_N = 2.05 \text{ kg/dygn}$.

Det totala syreintaget till avloppsvatten blir ca 10 000 kg/dygn.

Med en specifik tillförsel av syre $O_C = 21 \text{ g/m}^3$, m och ett inblåsningsdjup av 5 m i luftningsbassängen, blir luftbehovet i medeltal till $Q_L = 138\,000 \text{ m}^3/\text{dygn}$.

För typanläggningen kan beräknas den dagliga elbehovet (medelvärde) för försörjning med luft till luftningsbassäng vid 14 °C till 3 700 kWh/dygn.

2.2.3 Energibehov för omrörning av ej luftade bassängvolymer

Den del av luftningsbassängen som inte är luftad för att medge denitrifikation och en förhöjd fosforrening, måste hållas i rörelse för att undvika avlagringar. Då installeras som regel omrörare, utrustade med speciella blad för omrörning - ofta med dräkt

motor. Moderna omrörningssystem har, om de är optimalt avstämda till bassänggeometri, ett effektbehov av endast 1.5 till 2 W/m^3 .

Anm. Samma specifika effektbehov är även giltigt för omrörning av bassänger med kemisk fällning (tillägg vid redigering).

Sammanfattning:

Luftningsanläggning med kväverening	Elanvändning Absolut	Elanvändning per m^3 avloppsvatten	Pe-specifik elanvändning
Luftning/blåsmaskiner	3 760 kWh/d	153.5 Wh/ m^3	13.72 kWh/pe, år
Omrörning obeluftade delar	480 kWh/d	19.6 Wh/ m^3	1.75 kWh/pe, år
Recirkulationspumpar	140 kWh/d	5.7 Wh/ m^3	0.51 kWh/pe, år
Returslamtransport	170 kWh/d	6.9 Wh/ m^3	0.62 kWh/pe, år
Summa biologisk rening	4 550 kWh/d	186 Wh/ m^3	16.6 kWh/pe,år

Tabell 2-4 Elbehov vid ett tyskt reningsverk (typanläggning) för 100 000 pe för biologisk rening och nitrifikation/denitrifikation med försedimentering)

2.2.4 Dimensionering av luftningssystem

Följande olika luftningssystem kommer till användning:

- Ytluftare
- Tryckluftare/bottenluftare
- Speciella luftningssystem

För stora reningsverk installeras sedan några år övervägande tryckluftningssystem. Ytluftare återfinns främst vid mindre anläggningar.

Vid noggrann beräkning av syrebehovet skall tas hänsyn till att syrekoncentrationen c_s vid mättnad är beroende av trycket. Den med inblåsningsdjupet stigande syrekoncentrationen vid mättnad medför en viss reduktion av det erforderliga syrebehovet med tilltagande bassängdjup

Sammanslagning av luftblåsor och minskande syrehalt i luftblåsor vid stora inblåsningsdjup, gör att medelvärdet för specifika syreutnyttjningsgraden minskar med stigande bassängdjup. Vidare har bassängformen, belägningsgrad (andel area för lufttillförsel), luftningsanordning, sönderdelning av luftblåsor samt typ av omrörare en väsentlig betydelse för hur effektivt syre utnyttjas i luftningsbassänger.

Ytluftare

Med ytluftare sker syretillförseln vid vätskeytan på mekanisk väg. Därvid sker även omblandning av bassängens innehåll och förhindrar slamavlagringar. Vid luftning av vätskeytor används idag vanligen något av följande system:

- Ytrotorluftare (lågvarvig eller högvarvig)
- Valsluftare

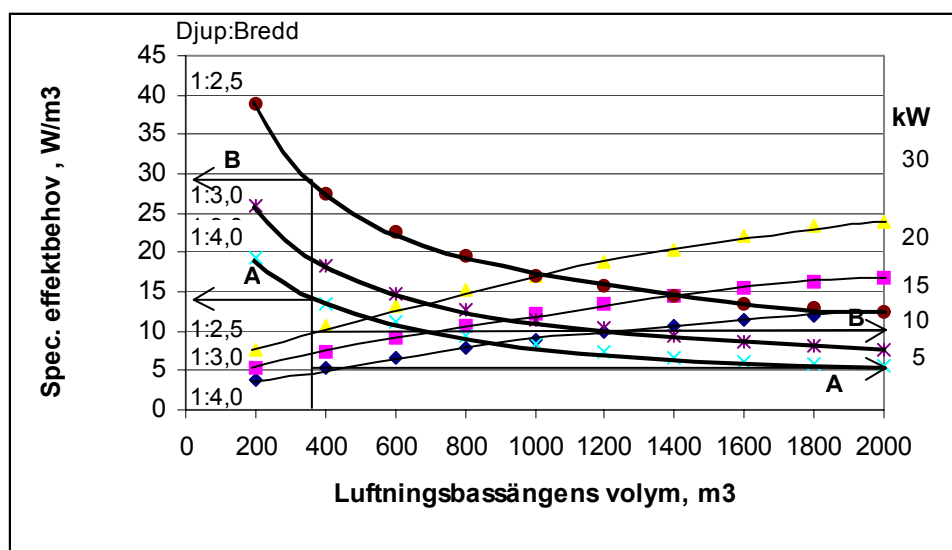
I tabell 2-5 visas en sammanställning av syreutbytet per kWh el för olika system för ytluftning.

Ytluftare	Syreutbyte i kg O ₂ /kWh			
	Rent vatten		Driftförhållande	
	God	medel	god	medel
Ytrotorluftare i blandningsbassäng	1.7	1.3	1.5	1.1
Ytrotorluftare i ringkanal	2.1	1.6	1.9	1.4
Valsluftare i ringkanal	1.7	1.3	1.5	1.1

Tabell 2-5 Syreutbyte för ytluftare

Anm. Enligt erfarenheter från drift av valsluftare i bl a Estland är syreutbytet för valsluftare i grunda bassänger mycket lågt, "nästan noll", eftersom bubblorna endast finns i ytskiktet och att de har försvunnit en mindre sträcka från valsluftaren.

Vid sidan av energianvändningen för syretillförsel, måste vid ytluftare ytterligare energi användas för att hålla mikroorganismer svävande i vätskan. Den erforderliga effekten för detta visas i figur 2-6 som en funktion av bassängdimensioner och bassängvolym. Se praktisk tillämpning i exempel A och B.



Figur 2-6 Ytluftare: Minimala eleffekter för omrörning av luftningsbassäng för att få en tillräcklig strömningshastighet vid bassängbotten

Exempel: Ytluftare med olika form på luftningsbassäng med en volym av 350 m³

Bassäng typ A

Bassängdjup/bassängbredd = 1:4 (relativt grund bassäng)

Erforderlig minsta effekt för att undvika avlagringar, enligt figur 2-6

Specifikt eleffektbehov 14 W/m³
 Absolut effektbehov 4.9 kW

Bassäng typ B

Bassängdjup/bassängbredd = 1:2,5 (relativt djup bassäng)

Erforderlig minsta effekt för att undvika avlagringar, enligt figur 2-6

Specifikt eleffektbehov 29 W/m³

Absolut effektbehov 10 kW (dvs dubbla effektbehovet)

Resultat:

För samma uppgift (förhindrande av avlagringar) gäller för samma bassängvolym det dubbla elbehovet för den "djupa" bassängen typ B jämfört med den relativt grunda bassängen typ A.

Vid dimensionering av luftningseffekt vid minimilast är det som regel inte syrebehovet som är dimensionerande, utan den erforderliga omrörningseffekten. I detta fall måste mer effekt tillföras i luftningsbassäng för att förhindra avlagringar, än vad som krävs för att tillgodose syrebehovet. Med en relativt grund bassäng kan denna situation förbättras. Alternativt gäller installation av omrörare.

För en energimässig bedömning av luftningssystem är syreutbytet under driftbetingelser det som är dimensionerande.

Bottenluftare - blåsmaskiner

Vid luftning med hjälp av blåsmaskiner (vridkolvmaskiner, turbokompressorer) tillförs luften vid ett djup av flera meter genom speciella luftningsdon. Under uppehållstiden för luftblåsorna i avloppsvattnet går en del av syreinnehållet över till avloppsvattnet. För varje uppehållstid, storlek på luftblåsor, inblåsningsdjup och luftningssystem, varierar syreutnyttjningsgraden mycket starkt. Luftningssystemen kan i förhållande till storleken på luftblåsor delas in i grovblåsiga ($\Phi > 4$ mm), medelblåsiga ($3 \text{ mm} < \Phi < 4 \text{ mm}$) och finblåsiga system ($\Phi < 3 \text{ mm}$).

Syreutbytet för olika finblåsiga luftningssystem med tryckluft visas i tabell 3-16.

Grov- och medelblåsiga luftningssystem med tryckluft installeras inte längre med hänsyn till det större elbehovet. Dessa system förbrukar ungefär dubbelt så mycket energi jämfört med finblåsiga system för syretillförsel. Befintliga anläggningar med grov- och medelblåsiga luftningssystem bör därför bytas ut så snart som möjligt.

Luftare med tryckluft	Syreutbyte i kg O ₂ /kWh			
	Rent vatten		Driftförhållande	
	God	medel	god	medel
Bredbandsluftare	2.2	1.7	1.3	1.0
Bottentäckande lufttillförsel	3.2	2.4	1.9	1.4
Plattluftare	3.9	2.9	2.3	1.8

Tabell 2-7 Syreutbyte enligt erhållna värden för bottenluftare

Bredbandsluftning (figur 2-8)

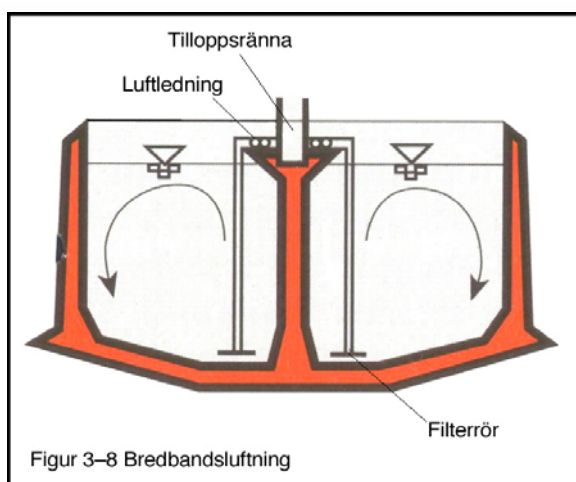
Som luftningsdon används filterrör eller filterkupoler. Dessa element installeras antingen längs ena sidan eller längs båda sidor till luftningsbassäng. Systemet kännetecknas av god omblandning genom en stark vertikalströmning. Syreutbytet är dock lägre än vad som gäller för ytluftare.

Bottentäckande luftning (figur 2-9)

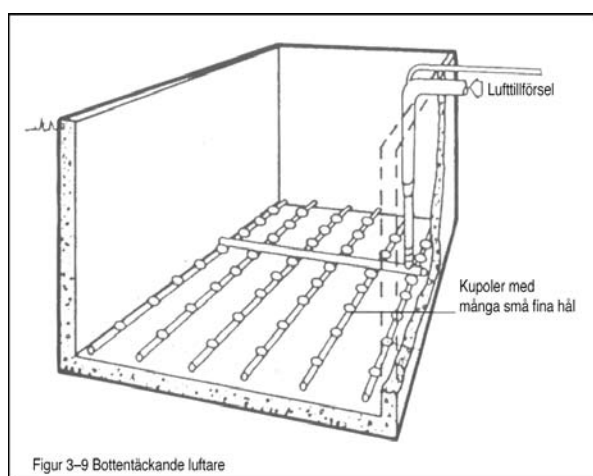
Detta förfarande innebär att luftningsdon (filterrör, kupoler etc) är fördelade över hela bottenytan till luftningsbassäng. För fullständig blandning av bassängen krävs en effekttäthet av ca 20 W/m^3 . Vid mindre syrebehov kan det därför bli problem med avlagringar. Jämfört med bredbandsluftning ger detta system ett högre syreutbyte genom en längre uppehållstid för luftblåsor i avloppsvatten.

Luftning via plattor (figur 2-10)

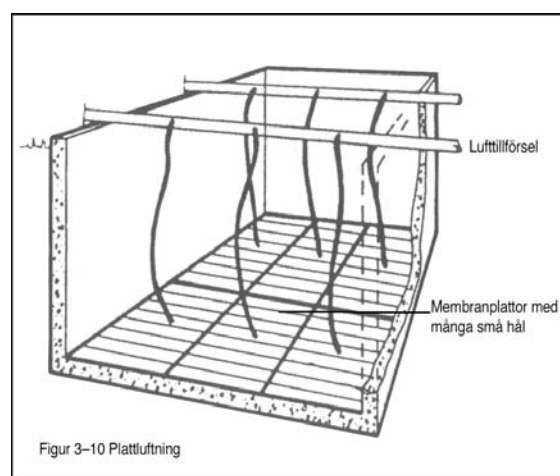
Plattor för luftning är gjorda av membran med fina hål och fördelas över hela resp. över delar av botten till luftningsbassängen. Detta system ger möjlighet till syretillförsel med mycket små luftbubblor som fördelas jämnt över bassängbotten, som ger både bra tillförsel och ett bra syreutbyte. Vid små luftflöden finns risk att inte kunna säkerställa en tillräcklig turbulens och att det därigenom kan uppstå slamavlagringar.



Figur 2-8 Bredbandsluftning



Figur 2-9 Bottentäckande tallriksluftning



Figur 2-10 Plattluftning

Val av blåsmaskiner

Huvuddelen av elbehovet för luftningssystem används för komprimering av processluft. Därmed sagt att valet och dimensionering av blåsmaskiner har stor betydelse. Dimensionering är beroende av inblåsningsdjupet (lufttrycket) och arbetsområdet för det luftflöde som måste tillföras, så att blåsmaskinerna kan arbeta över hela arbetsområdet med en hög verkningsgrad. I optimeringsöverläggningar måste också tas med punkter som typ av blåsmaskin (vridkolvmaskin, turbokompressor, etc.), bassängdjup och system för distribution av luft.

Vid små och medelstora reningsverk kommer som regel vridkolvmaskiner till användning. Verkningsgraden för sådana blåsmaskiner är vid nominell belastning 65-75 %. Med hänsyn även till motor och frekvensomriktare, blir den slutliga verkningsgraden 50-65 %. Luftflödet, som är direkt proportionellt mot varvtalet, kan via en frekvensomriktare problemfritt reduceras ner till 20 - 30 % av nominell kapacitet. Visserligen måste då tas hänsyn till att verkningsgraden sjunker såväl för kompressorn som för motorn. Vridkolvmaskiner är förträngningsmaskiner och är relativt okänsliga för ändringar av lufttrycket.

Vid flödesmängder från omkring 2000 m³/h och uppåt, utgör turbokompressor ett alternativ till vridkolvkompressor. Verkningsgraden för turbokompressorer vid nominell belastning är hög, omkring 80 %. För turbokompressorer kan kapaciteten regleras ned till minimum ca 45 % av nominellt flöde genom omställning av diffusor och ledskenor vid inloppet till löphjulet. Reglering av kapaciteten genom ändring av varvtalet, är inte möjligt för praktisk drift eftersom detta är strömningssmaskiner som kräver vissa strömningförhållanden för att inte kollapsa. På grund av strömningstekniska egenskaper, har tryckändringar en stor betydelse för kapaciteten och på verkningsgraden. Därmed är det mycket viktigt att göra en noggrann dimensionering av hela luftningssystemet med hänsyn till strömningssmotstånd för luftare och för rörledningar. Detta innebär som regel eliminering av trånga sektioner med höga lufthastigheter.

2.2.5 Optimering av luftinblåsningssystem

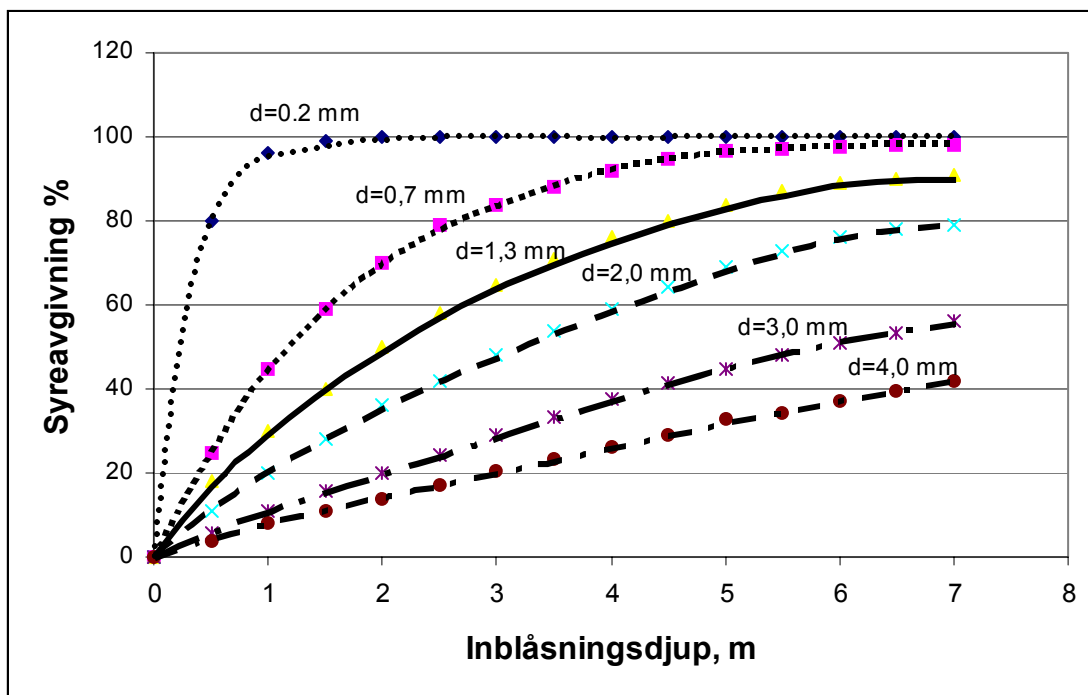
Vid sidan av systemspecifika data för syreutbyte kan syretillförseln påverkas genom anpassning av luftningen.

Syretillförsel i förhållande till bassängdjup

Effektiviteten vid syretillförseln beror bland annat av storleken på luftblåsorna och inblåsningsdjupet. Den kan beräknas med teoretiska modeller. Dessa tar hänsyn till alla bekanta storheter som kan påverka syreutbytet så som stighastighet för luftblåsor, den större lösligheten för syre vid större vattendjup, sammanslagning av luftblåsor etc.

Figur 2-11 visar den teoretiskt beräknade syreavgivningen för en enstaka luftblåsa beroende på dess diameter. Där framgår att det inte är meningsfullt att tillföra luft i form av mycket små blåsor vid stora vattendjup. Redan efter några meters stigning har blåsorna lämnat över allt sitt syre till omgivande vatten och har inte något syre kvar.

Utvidgar man den teoretiska modellen så kan man för ett speciellt fall (storlek på bassäng, luftningsutbredning, etc) bestämma den erforderliga luftmängden i förhållande till storleken på luftblåsor och bassängdjupet.

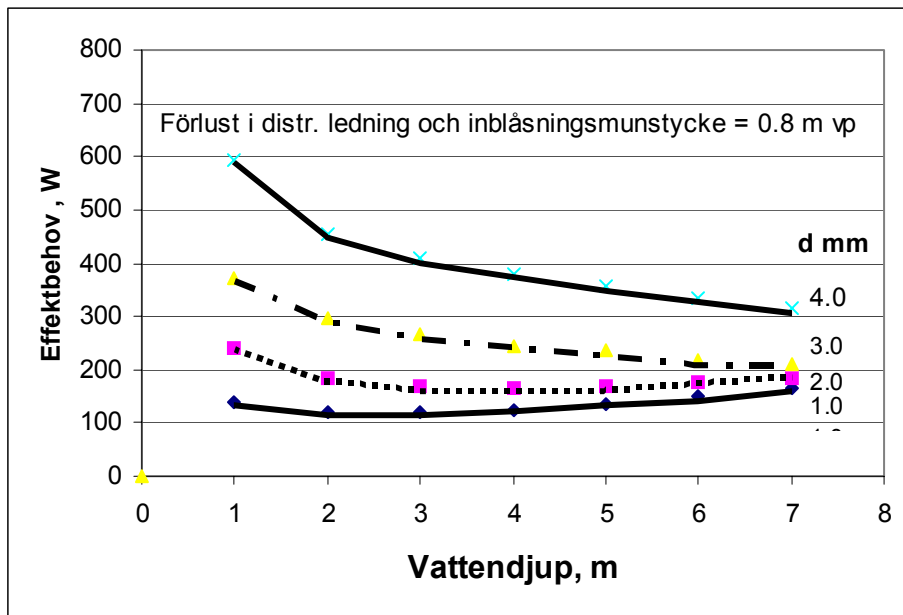


Figur 2-11 Syretransport i funktion av vattendjup för enstaka luftblåsor med olika diameter. För de minsta luftbubblorna ($d=0.2$ mm) har praktiskt taget allt syre övergått till omgivande vatten redan efter drygt 1 m. Därför är det olämpligt med så små luftbubblor på större djup.

Diagram 2-12 och 2-13 visar, att beroende på luftblåsornas storlek, kan ett optimalt vattendjup beräknas. Den angivna tryckförlusten av 0.8 m vp är realistisk för blåsor av 2-3 mm diameter (mindre blåsor kräver ett högre effektbehov och större blåsor ett mindre effektbehov).

Slutsatser:

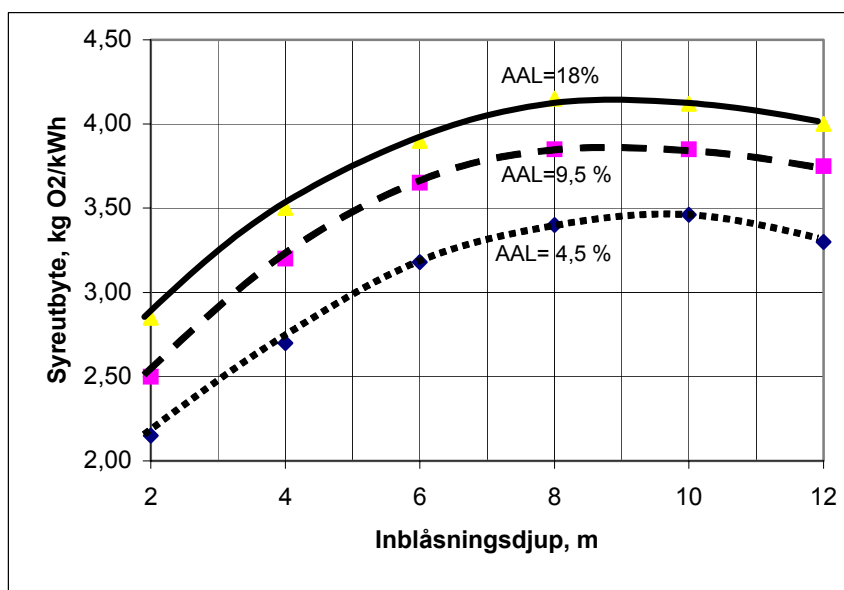
- Vanliga finluftningssystem (med luftblåsor av storleken 2 mm eller mindre) ger det lägsta elbehovet och visar på ett optimalt vattendjup i området 3-6 m. Vid en storlek av 3 mm luftblåsor eller större, är det optimala vattendjupet större än 7 m.
- För luftningssystem med blåsor av storleken 2-3 mm gäller ett teoretiskt maximalt syreutbyte av 5 kg O_2 per kWh el (för förhållanden med rent vatten).
- Kurvan för storleken 2-3 mm luftblåsor är ganska flack (figur 2-12). Detta betyder att för praktiska bassängdjup har det ingen avgörande betydelse för syreutbytet.



Figur 2-12 Erforderlig specifikt effektbehov för tillförsel av 1 kg O_2 vid olika storlekar av luftblåsor och bassängdjup.

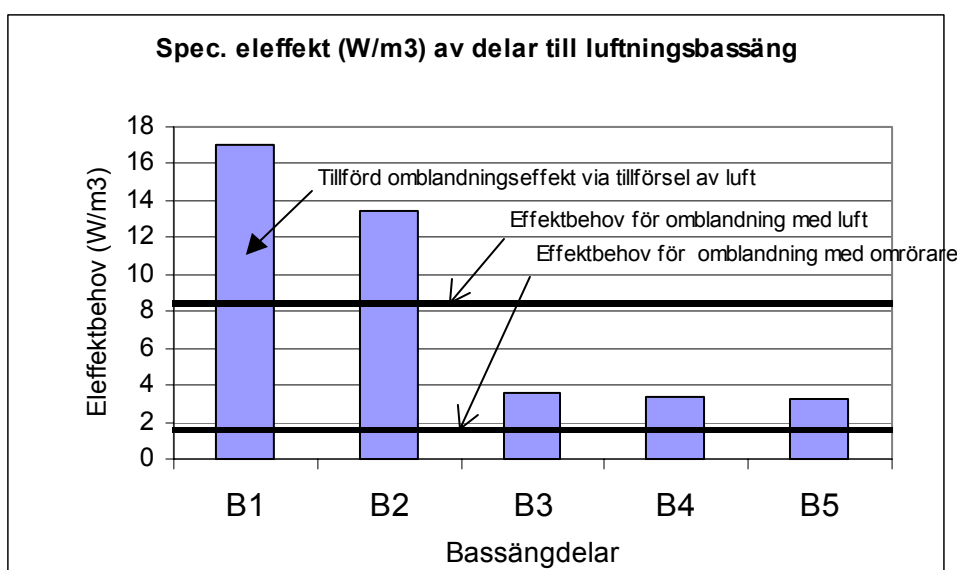
Slutsats: Elbehovet är som minst vid finblåsiga luftningssystem och ett bassängdjup mellan 3 och 6 m

Det finns resultat från studier av syreutbyte i förhållande till inblåsningsdjup och belägningsandel (luftavgivande area för luftare i förhållande till hela bottenarean). En sammanfattning visas i figur 2-13 för brutto-syreutbytet. Här har också tagits hänsyn till verkningsgraden för blåsmaskin (skruvkompressor). Dessa uppmätta värden gäller dock för rent vatten, dvs för omräkning till avloppsvatten måste användas en faktor, som i regel är angiven till 0.6-0.7, som reducerar syreutbytet.



Figur 2-13 Bruttosyreutbyte som funktion av inblåsningsdjup och andel area för luftning (AAL)

Slutsats: Det högsta syreutbytet erhålles för relativt stora bassängdjup 8-10 m och vid en relativt stor andel area för lufttillförsel.



Figur 2-14 Specifika elbehovet per m³ volym av luftningsbassäng i olika bassängdelar B1 till B5 (i längdsnitt). I bassängdelarna B3, B4 och B5 är tillförseln av luft för liten för att få en tillräcklig omrörning.

Figur 2-14 visar förloppet för den specifika omblandningseffekten via lufttillförsel för en luftningsbassäng i längdled. Exemplet motsvarar ett tillstånd med låg belastning. För den största delen av luftningsbassängen (B3 till B5) är omblandningseffekten genom luftning tydligt under den effekt som är nödvändig för att åstadkomma omrörning. Som en jämförelse visas effekten för omrörning med speciella omrörare.

I dessa fall måste luftningssystemet byggas om och energianvändningen optimeras, till exempel genom installation av system som skiljer på funktionerna omrörning och luftning.

Det energimässigt optimala systemet för luftning skall väljas och beräknas så att det skiljer på funktionerna syretillförsel och omrörning. System med självständig omrörning har både drifttekniska och energimässiga fördelar.

2.2.6 Reglering av syretillförseln

Koncept

Tillflödet av avloppsvatten, som ständigt ändrar sig, förutsätter en löpande anpassning av syretillförseln. Vid sidan av anordningen för luftning är det genom regleringstekniska åtgärder som tillförseln av syre anpassas till det verkliga syrebehovet.

Valet av regleringskoncept är dock mycket beroende av, vilken "reaktortyp", som luftningsbassängen är anpassad för:

- Luftningsbassäng med idealisk genomblandning.
Exempel: Kvadratisk bassäng med ytluftare
På grund av den intensiva omblandningen finns inga lokala skillnader i syrekonzentration. Därigenom blir det en liten dödtid (tidskonstant) för regleringen.
- Kaskadkopplad luftningsbassäng
Exempel: Flera bakom varandra kopplade luftningsbassängar med ideal omblandning
Kännetecknas av: Det finns skillnader i koncentration i de enskilda delbassängerna. Dödtiden för hela systemet är då större än för en enda luftningsbassäng med ideal omblandning.
- "Rörformad" reaktor (bassäng med pluggströmning)
Exempel: Långsträckt bassäng med beskickning i främre delen och luftning med komprimerad luft.
Kännetecknas av: Dödtiden motsvarar ungefär medelvärdet av uppehållstiden för avloppsvattnet i bassäng och kan därmed röra sig om timmar. Därigenom erhålles ett mycket ogynnsamt regleringsfall, som emellertid kan förbättras, genom att dela in bassängen i flera reglerkretsar.

För reglering används i normalfall något av följande två koncept:

- Reglering med en reglerkrets per luftningsväg.
- Reglering med flera reglerkretsar per luftningsväg.

Vid reglering med en reglerkrets mäts syrehalten på en plats i bassängen. En jämförelse görs mellan ett börvärde / ärvärde. Vid överskridande av en bestämd definierad skillnad medför det en motsvarande ändring i lufttillförseln. Detta regleringsätt kan användas med goda resultat för en bassäng med liten dödtid.

Med tilltagande dödtid blir den uppmätta syrekonzentrationen inte längre representativ för den aktuella syrehalten i hela luftningsbassängen. Därmed kan det för varje mätställe bli antingen en brist på syre eller en för hög syretillförsel.

Som en medelväg kan alltid ordnas en mätpunkt vid tilloppet och en vid utloppet till luftningsbassäng och att medelvärdet sedan användas för jämförelse av börvärde/ärvärde. Inför en ombyggnad är det dock eftersträvansvärt med reglering av syretillförseln för varje zon. Därvid delas bassängen in i olika zoner med en reglerkrets för varje zon. Luftningsanordningarna för varje enstaka reglerkrets måste då kunna styras individuellt, dvs de måste var för sig kunna vara i drift eller ej.

Styrning av kapacitet för ytluftare

Med användning av ytluftare påverkas syretillförseln genom:

- Antal maskiner
- Varvtalet hos luftarna
- Instickningsdjupet för luftare

Instickningsdjupet för luftaren kan ändras såväl med en anordning för höjdställning till luftaren eller genom fördämning av utloppet till luftningsbassängen. Därvid måste hänsyn tas till:

- Vid användning av fördämning var då uppmärksam på att det inte blir någon stark förändring av vattenspegeln vid minskande vattenflöde.
- Samhörigheten mellan insticksdjup och syretillförseln måste vara brant (tydligt).
- Med avtagande insticksdjup minskar effektbehovet för luftaren.
- Vid alltför stora insticksdjup kan motorn överlastas.

Omställbarhetsområde för ytluftare		
Åtgärd	Turbinluftare	Valsluftare
Urkoppling	0 / 100 %	0 / 100 %
Ändring av insticksdjup	50 - 100 %	40 - 100 %
Reglering av varvtal	50 - 100 %	50 - 100 %

Styrning av kapacitet för blåsmaskiner

Vid luftning med tryckluft används företrädesvis vridkolvkompressor eller turbokompressor. Reglering av syretillförseln görs genom regleringen av volymflödet. Då finns följande möjligheter:

- In- och urkoppling av enstaka maskiner
- Ändring av varvtal (vridkolvkompressor) eller ledskenor (turbokompressor)
Därvid måste dock beaktas att för varje reglering av driften är det inte möjligt att använda varvtal som är mindre än ca 40 % av det nominella varvtalet. Ändring av varvtalet kan göras stegvis med motorer med möjlighet till polomkoppling eller ändras kontinuerligt med en frekvensomriktare. För turbokompressor gäller dock fast varvtal. Flödet styrs med ledskenor till min ca 45 % av nominellt flöde.

Normalt försörjs enstaka bassänger eller zoner för luftning med luft via ett centralt distributionsnät med två eller flera kompressorer anslutna.

Kapaciteten för kompressorerna regleras i förhållande till den summerade skillnaden för alla bör- och är-värden för syrehalten. Beroende på utformning kan regleringen också bero av luftmängden eller av inställningar på reglerventiler. För reglering av blåsmaskiner vid en fördelning av luft på flera kammare, har det också visat sig vara bra att ha en reglerkrets för att styra trycket i luftfördelningssystemet före strypspjällen till enskilda kammare.

Vid användning av turbokompressorer för lufttillförseln till luftningsbassäng, framför allt vid stora reningsverk, används i princip samma regleringsalgoritm som för vridkolvkompressorer. Men kapaciteten hos turbokompressorer regleras inte genom ändring av varvtalet utan genom en omställning av ledskenor. Var uppmärksam på att turbokompressor, vars driftvarvtal som regel är 50 000 - 100 000 r/min, inte kan kopplas in och ur med korta intervaller.

En för hög, inte behovsanpassad, syretillförsel kostar mycket pengar. Vid en typanläggning för t ex 100 000 pe orsakar ett årsmedelvärde med 1 mg/l för hög syrehalt, en luftförbrukning som är 13 % för hög. Detta medför ökade elkostnaderna med ca 150 000 kr/år.

2.2.7 Omrörning av luftningsbassäng

Energibehov

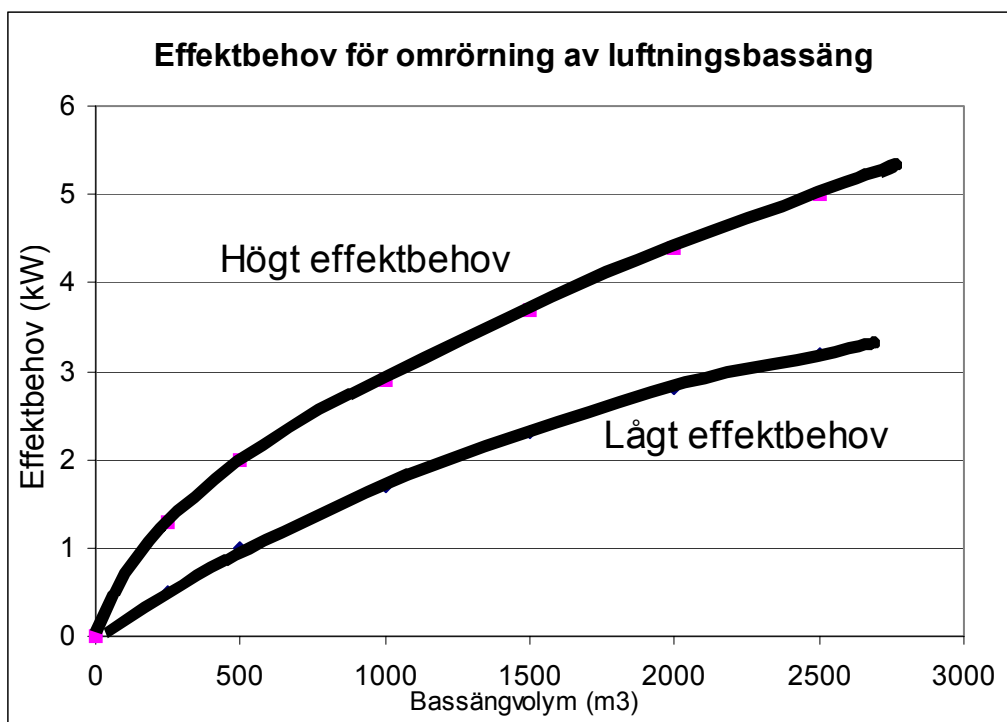
Att blåsa in luft är inte det ideala systemet för att åstadkomma omrörning. Under vissa förhållanden bestäms den erforderliga effekten för luftningssystemet inte av syrebehovet, utan av behovet för omrörning. Då kan speciellt i slutet av luftningsbassängen den nödvändiga inblandningen av syre under tider med liten belastning, bli så liten att det blir otillräcklig omrörning, se exempel i figur 2-14.

Det erforderliga energibehovet för omrörning beror i första hand av bassänggeometri och bassängvolym, typ av omrörare samt utformning och placering av aggregat. Därefter har slamegenskaper (slamvolym, slamindex) en stor betydelse.

Elförbrukning för omrörning av luftningsbassäng kan motsvara en andel av 7 - 12 % av den totala elförbrukningen för reningsverket.

Vanligen anges en specifik omrörningseffekt av 3-8 W/m³. Därvid gäller en hastighet av 0.20 - 0.30 m/s vid bassängens botten för att undgå avlagringar.

Genom teknisk utveckling av omrörningsutrustning, kan numera en specifik effekt av 1.5 - 3.0 W/m³ vara tillräckligt, se figur 2-15.



Figur 2-15 Effektbehov för omrörning av luftningsbassänger av olika volymer

Energieffektiviserande åtgärder

Principiellt gäller det att anpassa omrörare och bassänggeometri till varandra. Därvid har placeringen av omrörare en stor betydelse. Placering i vertikal led (nära ytan eller nära botten) har betydelse liksom även vridningsvinkel och lutningen på omrörarna. Därutöver gäller att färre men större bassänger är ur energisynpunkt mera gynnsamt för omblandning än flera mindre bassänger.

Vid luftade bassänger finns ofta konkurrerande krav beträffande det minsta luftflödet: i ett fall måste en tillräckligt omrörning säkerställas, i ett annat fall får inte för mycket syre tillföras med hänsyn till rening och från energisynpunkt. Här gäller det då att anpassa luftflödet så bra som möjligt till den verkliga belastningen baserad på "är-värden". Vid stora avvikelser mellan den byggda kapaciteten och den verkliga belastningen, kan det vara lämpligt att endast utnyttja en del av den sammanlagda luftningskapaciteten och avlasta i övriga luftningsbassänger.

I förekommande fall kan det vara gynnsamt att utrusta bassänger med utrustning för omblandning. Det minsta luftflödet bestäms då inte längre av erforderligt energibehov för omrörning, utan bestäms av det verkliga syrebehovet. Därigenom kan erhållas en besparing med reducerad effekt för blåsmaskiner under perioder med låg belastning eller vid stora hydrauliska tillflöden med stark förtunning av avloppsvattnet.

För att välja en energimässigt gynnsam placering kan det vara till stor hjälp att låta någon göra en beräkning av strömningsförloppet med hjälp av sk finita-element metoder. Därvid erhålls förutom uppgifter om optimal placering av omrörare även information om det detaljerade strömningsförloppet i bassängen, också under inflytande av luftningsaggregaten. Då kan bestämmas behov av omrörningseffekt för

energieffektiv drift med en lämplig placering. En vidare optimering kan göras genom ett förändrat utförande av tillopp och utlopp till bassängen. Det är t ex angeläget att utnyttja flödets rörelseenergi i inloppet för skapa en god omblandning.

För omrörare kan behovet av omrörningsenergi anpassas genom ändring av varvtal eller anfallsvinkeln för rotorbladen. Det finns också en möjlighet att låta omrörare vara i intermittent drift. Så länge som det inte blir några avlagringar eller beläggningar i bassängen, kan energibehovet minskas. Det är viktigt att samtidigt med sådana effektiviserande åtgärder följa upp förekomsten av avlagringar.

Anm. Dessa rekommendationer gäller även för omrörare till bassänger för kemisk fällning.

2.3 Pumpar och pumpdrifter

2.3.1 Olika slags pumpar

Mammutpump

Mammutpumpen används företrädesvis där det samlas grovt material som stenar, grus och sand och där dessa måste lyftas, dvs vid tilloppet till anläggningen. Vidare finner man mammutpumpar vid kompakta anläggningar för transport av returslam. Verkningsgraden är begränsad till ca 30 % och är given av transportprincipen. Energibehovet beror av de tillförda mediet (vatten, slam, sand, grus), mängden tryckluft och det använda lufttrycket.

Centrifugalpump

Centrifugalpumpen är vid sidan om skruvpumpen den vanligaste pumpen vid reningsverk. Det finns olika utformningar med olika sorters löphjul, som medger en optimal anpassning till de olika kraven. Verkningsgraden för denna pump finns inom ett mycket brett område mellan 30 och 90 %. Den lägsta verkningsgraden uppvisas av pumpar med sk friströmshjul. Trots detta är pumpar med friströmshjul mycket vanliga för transport av avloppsvatten och slam. Pumpar med friströmshjul är i motsats till pumpar med kanal- och skruvhjul, inte känsliga för igensättning.

En specialkonstruktion är avloppsvattenpumpen med en skruvkanalhjul. Denna pump förbinder en hög verkningsgrad med en självanpassad reglering (automatisk anpassning av transportmängden till tillloppsflödet). Detta driftförhållande liknar det som gäller för skruvpumpar och har en positiv verkan vad gäller energiförbrukning och för driften av anläggningen. Det fria tvärsnittet är däremot begränsat.

Skruvpumpar

Hydrauliskt och driftmässigt är skruvpumpar mycket omtyckta, då de anpassar sig till tillflödet och inte är känsliga för grovt material. Den begränsade uppfordringshöjden kan efter installation inte mer förändras. Detta har varit en besvikelse då det varit önskvärt att t ex utnyttja ledigt fribord i luftningsbassäng.

Verkningsgraden för skruvpumpar är medelmåttig till god. Den faller med höjden för spaltförluster. En bildning av trågform får då speciellt negativt resultat.

Den sk rörskraven förhindrar spaltförlust och genom användning av mellanlager går det att skapa större bygglängder. Dess verkningsgrad är därigenom högre.

Förträngningspumpar

I behandlingen av avloppsvatten har av kostnads- och platsskäl kolvpumpar trängts undan av excenterpumpar såvda inte mycket höga tryck efterfrågas (t ex vid slambehandling, kammarpressar).

Centrifugalpumpar Pumptyp och pumphjul	Transportmängder	Pumpverkningsgrad i förh. till pumpaxel
Spiral- /ringhus:		
• Friströmshjul		0.30-0.50
• Kanalhjul	till 100 l/s	0.50-0.70
	till 1000 l/s	0.70-0.82
Rörhus:		
• Rörskruvhjul	till 3000 l/s	0.75-0.85
• Axialpropeller	från ca 500 l/s	0.80-0.90

Tabell 2-16 De vanligaste typerna av centrifugalpumpar

Skruvpumpar Pumptyp	Transportmängder	Pumpverkningsgrad i förh. till pumpaxel
• Skruv	till 3000 l/s	0.70-0.80
• Rörskruv	till 1500 l/s	> 0.82

Tabell 2-17 Skruvpumpar

Förträngningspumpar Pumptyp	Pumpverkningsgrad i förh. till pumpaxel
• Kolvpumpar	0.70-0.80
• Excenterskrvpumpar (monopump)	0.3 - 0.7
• Dragkolvpumpar	0.6 - 0.8

Tabell 2-18 Förträngningspumpar

Anm. Olika typer av pumpar visar stora skillnader i energiverkningsgrad. Genom ett målmedvetet val av pumptyp och en riktig dimensionering kan därför stora elbesparingar göras.

2.3.2 Elbehov för lyftande pumpar

Om det av topografiska skäl inte finns tillräcklig fri fallhöjd till förfogande, så måste man installera pumpar för att lyfta inkommande avloppsvatten. Lyftande pumpar tjänar endast till att övervinna en höjdskillnad. De vanligaste pumptyperna är skruvpump och propellerpump.

Energibehov (nyttenergi):

Energibehovet för att lyfta 1 m³ avloppsvatten 1 m uppföringshöjd: **2.7 Wh/m³, m**

Det verkliga elbehovet blir något större beroende på förluster i pumpen (pumpverkningsgrad) och förluster i elmotorn (motorverkningsgrad). För pumpar gäller stora variationer i elanvändning för att göra samma nytta:

Elbehov (slutligt energibehov):

Pumpverkningsgraden kan variera från **0.3 till 0.85**

Motorverkningsgraden kan variera från **0.85 till 0.95**

Den faktiska elanvändningen för samma nytta kan då variera mellan **3-11 Wh/m³, m**

Anm. Dessa tal kan användas som jämförelsetal för alla slags pumpar.

Exempel: Elförbrukningen för lyftande pumpar till ett reningsverk (typanläggning för 100 000 pe) beräknas för en antagen uppföringshöjd av 3 m:

	Elanvändning Absolut	Elanvändning per m ³ avloppsvatten	Elanvändning specifikt per pe
Pump i tilloppet	340 kWh/d	13.9 Wh/m ³	1.24 kWh/pe, år

Tabell 2-19 Elbehov för lyftande pumpar vid tilloppet för typanläggning 100 000 pe

Antagande: Tillflöde vid torrt väder $Q_d = 24\,500\text{ m}^3/\text{d}$

Verkningsgraden för lyftande pumpar $\eta = 0.60$

För varje val av pump och tillhörande elmotor har ineffektiva anläggningar för samma transportarbete mer än tre gånger så stor elanvändning jämfört med energieffektiva anläggningar.

Optimering av system:

För lyftning av avloppsvatten med skruvpumpar skall granskas om undervattendelen kan höjas för att reducera uppföringshöjden. Ofta är det möjligt att höja nivån något ovanför fyllpunkten för skruven. Pumpen utrustas med en steglös varvtalstyrning, som reglerar pumpen i förhållande till vätskenivån. Det får dock inte uppstå några avlagringar i tilloppsledningen.

Reglering

Principiellt gäller att pumpar skall regleras vid stora variationer i transportflöden. Det kan ske genom:

- Självreglering inom området för pumpkurvan Q-H kurvan
- Reglering av uppehåll i driften
- Reglering av varvtal
- Antal pumpar i drift
- Drift i olika steg i en grundlastpump för minimallast och en pump för spetslast.

2.3.3 Pumpar för primärslam

Pumpar för primärslam är det första steget i slambehandlingen. Dessa pumpar måste optimeras tillsammans med mottagningen av primärslam från försedimenteringsbassäng och förtjockare. Ofta installerade pumptyper är förträngningspumpar (dragkolvspumpar, excenterskruvpumpar) och propellerpumpar.

Elanvändning för en typanläggning (100 000 pe):

Specifik förbrukning: **24 Wh/m³** färskt slam

Absolut förbrukning : **4 kWh/dygn**

Antagande: Tillförsel av primärslam 174 m³/d

Uppfordringshöjd = 4 m

Verkningsgrad för pumpar $\eta = 0.45$

2.3.4 Pumpar för returslam

Dessa pumpar används för återföring av slam från eftersedimenteringsbassäng, tillbaka till luftningbassäng, för att upprätthålla mängden aktivt slam. Den vanligaste pumptypen är propellerpump. Vid gamla anläggningar används också transportskruvar (en nackdel är att det medför upptagning av syre).

Elanvändning för en typanläggning (100 000 pe):

Specifik förbrukning: **7 Wh/m³** returslam

Absolut förbrukning : **170 kWh/dygn**

Antagande: Uppfordringshöjd = 1.5 m

Mängden returslam = 24 000 m³/d

Vattenhalt 99.5 %

Verkningsgrad pumpar $\eta = 0.60$

Anm. Driften av returslampumpar skall regleras så att flödet är proportionellt mot mängden tillfört avloppsvatten.

2.3.5 Pumpar för överskottsslam

Dessa pumpar transporterar överskottsslam från slamgropen till eftersedimenteringsbassäng över till förtjockning eller tillbaka till inloppet av försedimenteringsbassäng. Vanligen används excenterskruvpumpar eller vid en liten uppforderingshöjd också propellerpumpar.

Elanvändning för typanläggning (100 000 pe):

Specifik förbrukning: **18 Wh/m³** överskottsslam

Absolut förbrukning : **11 kWh/dygn**

Antagande: Uppfordringshöjd = 4 m

Mängden överskottsslam = 616 m³/dygn

Verkningsgrad för pump $\eta = 0.70$

2.4 Slambehandling

2.4.1 Minskad volym betyder mindre energibehov

Vid slambehandling används el för transport, omblandning, förtjockning och för avvattning av slam. Vid reningsverk är slambehandlingen som regel den hantering som efter luftning kräver mest energi.

Slambehandling kräver nästan 20 % av elanvändningen och svarar för 80-90 % av värmebehovet vid ett avloppsreningsverk.

En minskning av den tillförda slammängden leder därmed omedelbart till en motsvarande besparing av energianvändningen såväl för transport som för behandling av slam.

Exempel:

		TS-halt	Slammängd
Tillförsel av primärslam	från försedimentering	2.5 %	174 m ³ /d
	från förtjockare	5.0 %	78 m ³ /d

	Reduktion av slammängd		55 %
Tillförsel av överskottsslam	från eftersedimentering	0.8 %	616 m ³ /d
	Från förtjockare	6.0 %	76 m ³ /d

	Reduktion av slammängd		88 %

Tabell 2-20 Minskning av slammängd för driftfall före och efter förtjockning.

Mängden torrsubstans i slammet har ett viktigt inflytande på energibehovet för slamhantering. Vid de flesta stegen i slamhanteringen måste slammet pumpas. Från energisynpunkt måste man eftersträva en så hög TS-halt som möjligt utan att det hindrar hanteringen.

Ju högre TS-halt för slammet, ju mindre blir slamvolymen och ju mindre blir pumparbetet, dvs energibehovet. Samma resonemang är även giltigt för värmebehovet för slambehandlingen.

Vid transport av slam måste användas lämpliga pumpar, anpassade för uppgiften. Verkningsgraden får inte försämrats genom en känslighet för stopp i matningen eller av problem att transportera slam med hög TS -halt.

En minskning av mängden slam sänker alltid energianvändningen.

2.4.2 Förtjockning

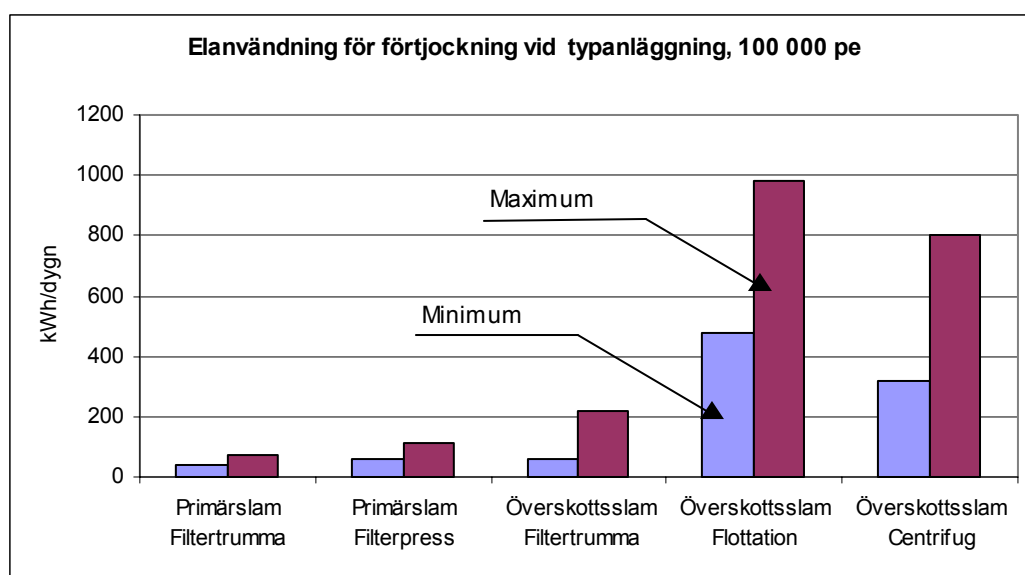
Avskiljning av vatten ur slammet leder till en minskning av volymen. En mindre slamvolym leder till minskad energianvändning för de efterföljande behandlingsstegen (rötning, konditionering, etc). Det avskiljda rejektet återförs tillbaka till inloppet till reningsverket. En hög TS-halt ger också energibesparingar vid en senare torkning eller förbränning av slam. Viktigt för val av metod är den önskvärda TS-halten, som beror av den vidare slambehandlingen och hur slammet slutligen skall användas.

Den energimässigt mest gynnsamma metoden för förtjockning är statisk eller gravimetrisk förtjockning. Den energimässiga förtjänsten gäller främst sättet att avskilja slam eller slamvatten. Här kan en optimering ske genom användning av sonder för fast material. Fasta eller rörliga mätsonder kan användas för att bestämma läget för skiljeytan mellan slam och slamvatten och därigenom bestämma det optimala läget för avskiljning.

Med gravimetrisk förtjockning blir det ofta begränsningar vid gemensam hantering av primärslam och överskottsslam. Problem uppstår då främst vid anläggningar med nitrifikation av överskottsslam. Därför övergår man mer och mer till att hantera primärslam och överskottsslam åtskilda, varvid företrädesvis primärslam förtjockas med gravimetrisk metod och överskottsslam med maskinell förtjockning.

Maskinell förtjockning sker med pressar, bandförtjockare eller med centrifuger. Aggregaten skiljer sig åt mycket vad gäller elanvändningen. För att välja en lämplig metod med hänsyn till olika slamkvaliteter måste förförsök genomföras. Syftet är att uppnå en bestämd kapacitet för avvattning med minsta möjliga elanvändning och minsta användning av flockningsmedel.

I figur 2-21 visas en jämförelse av elanvändningen för olika metoder till förtjockning. Spridningen är relativt stor, dels beroende på olika slamegenskaperna, dels beroende på olika tillverkare/fabrikat.



Figur 2-21 Elförbrukning för förtjockning av primärslam och överskottsslam

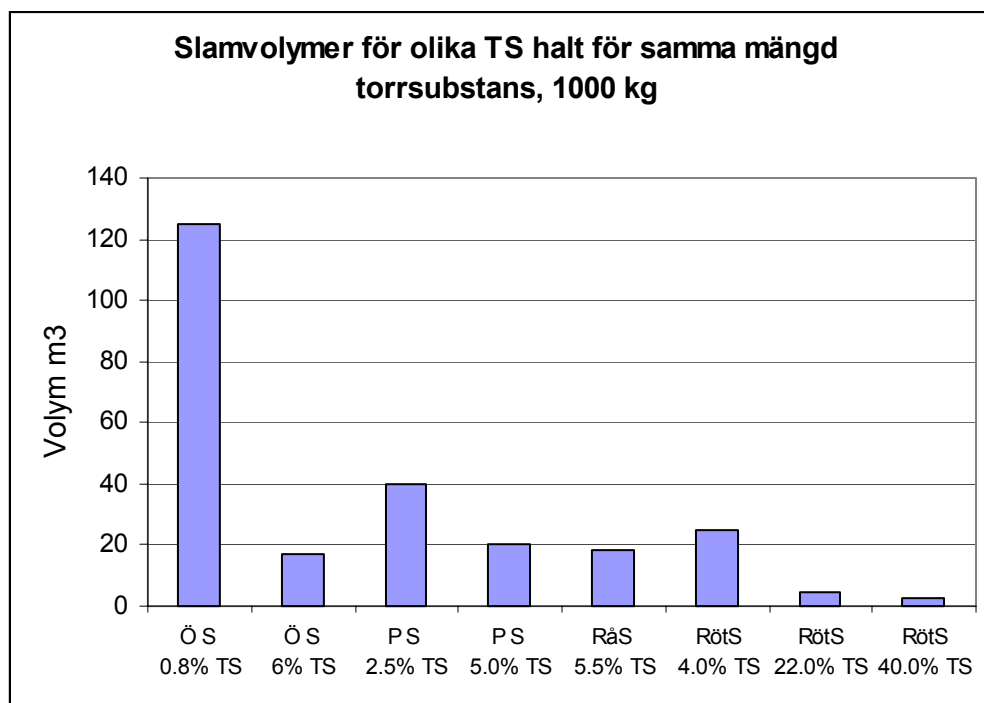
Vid en jämförelse av energikostnader för olika förfaranden måste också beaktas den TS-halt som kan uppnås, liksom som graden av förorening för det avskilda vattnet, rejektet. En överblick över elbehovet vid förtjockning av slam ges i tabell 2-26. Den konventionella metoden med statisk förtjockning misslyckas ofta med överskottsslam vid lågt belastade anläggningar för nitrifikation. Detta slam bör därför förtjockas maskinellt eller med hjälp av flottation.

2.4.3 Reduktion av slamvolym

Vid avskiljningen av vatten minskar volymen, som leder till en mera rationell vidarebehandling av slam. Den stora betydelsen av minskade volymer för olika TS-halter visas i figur 2-22. En skenbart liten höjning av koncentrationen t ex för råslam från 4 % till 5 % TS, betyder en volymreduktion med 20 %. Därmed erhålles en motsvarande energibesparing för efterföljande pumpar.

Den energimässigt mest gynnsamma volymreduktionen görs med statisk förtjockning. Alla övriga metoder för "slamavvattning" använder mer eller mindre energiintensiv maskinell utrustning med flockningshjälpmedel. Maskinstorleken har en stor inverkan på det specifika elbehovet.

Små maskinella enheter med liten satsning (t ex 300 kg TS/h) kräver upp till 50 % högre specifik elförbrukning än för dubbelt så stora enheter för avvattning.



Figur 2-22 Slamvolym som funktion av TS-halten för olika slags slam vid lika mängd torrs substans (1000 kg).

Typ av slam	TS %	konstant TS		Typanläggning	
		TS kg	Volymer m ³	TS kg	Volymer m ³
Överskottsslam	0.8	1000	125	4930	616
Förtjockat	6.0	1000	17	4590	76
Primärslam	2.5	1000	40	4330	174
Förtjockat	5.0	1000	20	3900	78
Råslam (ÖS + PS = Råslam)	5.5	1000	18	8490	155
Förtjockat	5.5	1000	18	8490	155
Rötat slam	4.0	1000	25	6000	155
Avvattnat rötslam	22	1000	4.5	5400*	25
Avvattnat rötslam	40	1000	2.5	5800**	15

*Centrifug med 90 % avskiljningsgrad;** Kammarfilterpress med 97 % avskiljningsgrad
 Tabell 2-23 TS och volymer för olika slags slam: Exempel med 1000 kg TS

Statisk (gravimetrisk) förtjockning

Vid statisk förtjockning (sedimentation) avskiljs dräneringsvatten ur råslam utan någon insats av energi före vidare behandlingssteg. Vid statisk förtjockning behövs som regel inte något flockningshjälpmedel.

Elförbrukning för typanläggning för 100 000 pe

Specifikt elanvändning 0 - 0.4 kWh/m³ rötslam

Absolut elanvändning 0 - 62 kWh/dygn

Filtrering (filtertrumma/filterband)

Överskottsslam och primärslam kan också förtjockas med horisontella roterande filter/silar eller silband. Det avskiljda vattnet (filtrat) leds tillbaka till reningsverket. Detta system behöver polyelektrolyt (PE) som flockningshjälpmedel. Kostnaden för polyelektrolyt är av samma storleksordning som elkostnaderna för t ex en centrifug, som drivs utan flockningshjälpmedel. Vid sil-förtjockning används el för drift av slampump, pump för spolning, för beredning av flockningshjälpmedel och för drivmotorn till den roterande silen.

Metod	Uppnåbar halt torrsubstans TS [%]
Centrifug utan flockningshjälpmedel	5- 8
med flockningshjälpmedel	6-10
Filtertrumma	5- 9
Flottation utan flockningshjälpmedel	3- 6
med flockningshjälpmedel	6- 8

Tabell 2-24 Olika metoder för förtjockning (med och utan flockningshjälpmedel)

Elförbrukning för typanläggning (100 000 pe)

Specifik elanvändning 0.2 - 0.4 kWh/m³ *primärslam*

Absolut elanvändning 35 - 70 kWh/dygn

eller

Specifik elanvändning 0.2 - 0.4 kWh/m³ *överskottsslam*

Absolut elanvändning 120 - 250 kWh/dygn

Dekantercentrifug

I en dekantercentrifug avskiljs fast material från vätska med hjälp av centrifugalkrafter. Därigenom uppnås den önskade volymreduktionen.

Avskiljningskapaciteten för en centrifug bestäms genom inställning av följande storheter:

- Tillflöde - volymström (viktigaste parameter och som bestämmer uppehållstiden)
- Varvtal för centrifugen
- Sk differensvarvtal
- Nivåhöjd för vätskeringar
- Flockningshjälpmedel: volymström, koncentration, typ, slag av dosering

Med en dekantercentrifug kan såväl överskottsslam som primärslam och rötslam förtjockas. Vid förtjockning av överskottsslam kan en tillsats av polyelektrolyt vara lämpligt, då det ökar förtjockningsgraden, förbättrar vattenkvaliteten och dessutom minskar energiförbrukningen. I dessa fall ligger elförbrukningen i det undre området av det angivna området. Kostnaden för polyelektrolyt måste jämföras med andra alternativ för att se om det är berättigat.

El används för drift av centrifug men dessutom för transport av rötslam, förtjockat slam och för dosering av flockningshjälpmedel. Med konventionella centrifuger kan, något beroende på slambeskaftenhet, uppnås en TS-halt av 20-30 %.

Elförbrukning för typanläggning (100 000 pe)

Specifik elanvändning 20 - 43 kWh/t TS *rötat slam*

Absolut elanvändning 120 - 260 kWh/dygn

Specifik elanvändning 0.5 - 1.3 kWh/m³ *överskottsslam*

Absolut elanvändning 300 - 800 kWh/dygn

En optimering gäller främst minimerad användningen av flockningsmedel och inställningen av maskinparametrar. Detta gäller t ex differensvarvtalet för centrifugen, bandhastigheten för filterbandpress och fyllningsförloppet vid filterbandpressar. För den optimala doseringen av flockningsmedel finns flera olika system. Mätning av halten fast material i transportledning och mätning av slamvatten har sedan länge visat sig vara meningsfullt. Tillsammans med en motsvarande mätning av flödet kan tillförseln av slam bestämmas och en proportionell dosering ställas in.

En innovativ dosering av polymerer sparar energi och sänker vattenförbrukningen.

Anm. Var därför inte rädd för att prova men glöm inte att utvärdera resultatet (tillägg)

Högavvattningscentrifug

Högavvattningscentrifugen är en vidareutveckling av centrifugen, som avvattnar materialet ytterligare i en kompressionszon med hjälp av en skruv. För den nyaste generationen har kapaciteten kunnat höjas ytterligare. Den TS-halt som kan uppnås ligger på 35 - 40 % och är därmed högre än vad som kan uppnås med rena centrifuger. På grund av höga varvtal och höga vridmoment är elförbrukningen högre för en högavvattningscentrifug än för en vanlig centrifug.

Typ		Centrifug		Högavvattn.- centrifug 1:a generation		Högavvattn.- centrifug 2:a generation	
Trumdiameter	[mm]	1100		910		670	
Kapacitet	[m ³ /h]	60	90	60	90	60	90
Eleffekt totalt	[kW]	53	65	119	154	83	107
Elförbrukning	[kWh/m ³]	0.88	0.72	1.98	1.71	1.38	1.19

Tabell 2-25 Elförbrukning för tre generationer av centrifuger

Elförbrukning för typanläggning för 100 000 pe:

Specifikt	1.2 - 2.2 kWh/m ³ rötslam
	30 - 56 kWh/t TS rötslam
Absolut	180 - 340 kWh/dygn

En jämförelse av elanvändning för olika metoder för avvattning av *rötat slam* visas i tabell 3-25.

Elförbrukning		Specifik				Absolut			
Förtjockning och avvattning		kWh/m ³		kWh/t TR		kWh/pe, år		kWh/dygn	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Statisk förtjockning	(10 % TS)	0.0	0.4	0	10	0.00	0.23	0	62
Centrifug	(28 % TS)	0.8	1.7	20	43	0.45	0.96	124	264
Höglapacitetscentrifug	(33 % TS)	1.2	2.2	30	56	0.68	1.24	186	341
Filterbandpress	(30 % TS)	0.6	1.2	15	30	0.34	0.67	92	184
Kammarfilterpress	(38 % TS)	1.0	2.2	25	55	0.56	1.23	153	337
Kammarfilterpress	(40 % TS)	1.2	3.4	30	85	0.67	1.90	184	521

Tabell 2-26 Elförbrukning för olika metoder för avvattning av rötslam

En ytterligare möjlighet till minskning av energikostnaderna är att förlägga driften av avvattningsmaskiner under tider med låg eltariff, dvs under nätter. Detta är framför allt lämpligt för centrifuger. Genom det lägre priset sjunker elkostnaderna. Drift nattetid kräver dock en långtgående störningsfri och automatisk drift.

Centrifuger skall om möjligt vara i drift under nätter för att sänka effektbehovet och därmed effektkostnaden för reningsverket

2.4.4 Rötning av slam - stabilisering

Stabilisering har som syfte att ge råslammet ett stabilt tillstånd vad gäller lukt och hygieniska egenskaper samt förbättra dess egenskaper, t ex för avvattnings. Därmed skiljer man mellan aerob (med syretillförsel) och anaerob (utan syre) metod å ena sidan resp kall (psychrofil) och varm (mesofil, termofil) metod å andra sidan.

Följande tre metoder kommer huvudsakligen till användning:

- Simultan aerob stabilisering
- Anaerob-mesofil stabilisering
- Anaerob-psychrofil stabilisering

Med den aeroba termofila stabiliseringen blir råslammet luftat under 3-8 dagar, som medför en hög elförbrukning.

Den aeroba nedbrytningen sker exotermt. Temperaturen ställer som regel in sig på över 50 °C, som då verkar som en hygienisering av slammet.

Anaerob-mesofil stabilisering (metanjäsning, slamrötning)

Rötning av slam skall stabilisera det tillförda slammet och från energisynpunkt framför allt att utvinna den värdefulla energibäraren biogas.

Vid rötning av slam bryts organiska föreningar ned genom anaeroba mikroorganismer. Innehållet av organiskt material omvandlas till metan och koldioxid vid en optimal temperatur av 33-38 °C. Samtidigt förbättras egenskaperna för förtjockning av slam och för avvattnings samt att lukten kan reduceras.

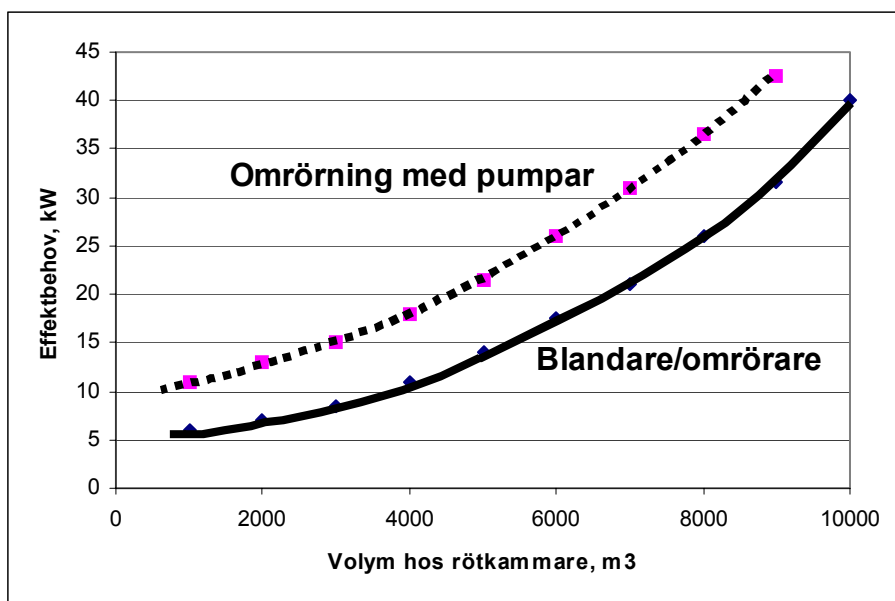
Elanvändning

El behövs till :

- Pumpar för beskickning av rötkammare
- Slampumpar för transport av slam genom värmeväxlare
- Omrörning i rötkammare genom pumpar eller omrörare..

För omrörning i rötkammaren används konventionella centrifugalpumpar, varvid omrörningen ofta är kopplad till uppvärmningen av slammet. Möjligheter att spara energi erbjuds här närmast genom en intermittent drift med intervall av vila för omrörningspumpar. Ett utbyte av pumpar till blandare eller annan omrörningsutrustning ger inte endast en mer homogen blandning utan de använder dessutom ca 25 % mindre el. Elförbrukningen för pumpar och för blandare av rötslam som funktion av volymen för rötkammare, visas i figur 2-27.

Med intermittent drift kan omblandningspumpar kopplas in och ur drift. Om det finns flera rötkammare, kan dessutom en växling göras mellan olika rötkammare. Det kan visserligen uppstå driftproblem med bildning av ett "svävande skikt" eller bli stopp i pumpar och i rörledningar. Driftsättet måste därför provas ut och kontrolleras. I några fall kan elförbrukningen halveras med detta sätt för omrörning.



Figur 2-27 Elförbrukning för blandare och för utanpåliggande omrörningspumpar för rötslam.

Energimässigt gynnsammare än med utanförliggande omrörningspump är användning av inutiliggande omrörningsutrustning. Med hänsyn till utformningen skiljer man på:

- Vertikal blandare med skruvblad och en på axeln fästad omlänkingsutrustning, som ger en tvångsvis omblandning i ett slags stigarrör.
- Blandare i flera steg.
- Blandare med dräkt motor med vertikal eller vinklad uppställning.

En ombyggnad av en befintlig anläggning är endast möjlig om lasterna från omrörning kan tas upp av den befintliga byggkonstruktionen. Detta måste visas genom en beräkning av krafter och påfrestningar.

Värmebehov

Termisk energi erfordras för att värma det kalla slammet av 8-20 °C till den erforderliga processtemperaturen av 33-38 °C. Energi måste tillföras för att täcka följande värmeförluster:

- Värmeuttag genom uttag av färdigrötat slam
- Värmeuttag genom uttag av rötgas
- Värmeförluster för ev. utomhusplacerade ledningar för omrörning
- Temperatursänkning genom tillförsel av råslam
- Värmeförluster för omslutningsytan till röt-kammaren

Särskilt krävs en stor mängd värmeenergi för att täcka transmissionsförluster från röt-kammaren, då processtemperaturen i årsmedeltal är ca 30 - 35 °C över utomhustemperaturen. Men med en god värmeisolering av röt-kammaren kan dessa transmissionsförluster kraftigt reduceras.

Värmeförbrukning för en typanläggning (100 000 pe)

Värmeförbrukning			Specifik				Absolut			
	MJ/m ³		MJ/tTS		MJ/pe,år		MJ/d		kWh/d	
rötning	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Värmning (från 14 °C till 33 resp. 38 °C)	80	101	1408	1779	45	57	12340-15587	3430-4333		
Transmissionsförluster	6	8	111	139	3.5	4.7	975 - 1210	270 - 337		

Tabell 2-28 Värmeförbrukning för den anaeroba-mesofila rötningen, uppdelad på behov för uppvärmning och för att täcka transmissionsförluster.

Elförbrukning för typanläggning (100 000 pe)

Specifik elanvändning:	1.6 - 2.3 kWh/m ³ förtjockat råslam
	29 - 42 kWh/t TS förtjockat råslam
Absolut elanvändning:	248 - 357 kWh/dygn

Värmeförbrukning (värmning och transmissionsförluster)

Specifikt värmebehov	85 - 107 MJ/m ³ förtjockat råslam
	1 500 - 1900 MJ/t TS förtjockat råslam
Absolut värmebehov	13 200 - 16 600 MJ/dygn
	3 660 - 4 620 kWh/dygn

2.4.5 Torkning av slam

Grundlagar

Termisk torkning av slam har till uppgift att förånga vatten som inte längre kan avskiljas på mekanisk väg. Syftet är som regel att förbereda för en senare förbränning av torkat slam.

I enstaka tillfällen kan den termiska torkningen också förbättra lagringsförmågan för slam som skall användas i t ex landskapsvård eller för att reducera den deponerade mängden slam.

Användningsändamål	Erforderlig TS-halt
Mono- förbränning av råslam i virvelbäddssugn	ca 35 %
Mono- förbränning av rötslam i virvelbäddssugn	ca 35 %
Förbränning i kraftverk eller cementugn (optimalt)	ca 95 %
Optimala lagringsegenskaper	90 - 95 %

Tabell 2 - 29 Krav på TS-halt för olika användningsuppgifter

Den termiska torkningen kräver insats av termisk energi, som måste tillföras vid en temperatur som är tydligt över 100 °C för att förånga slamvatten. Enligt fysikaliska lagar erfordras för torkning av slam utan hänsyn till transmissionsförluster etc. vid fulltorkning till omkring 95 % TS följande värmemängder:

Termiskt energibehov för torkning av 1 ton slam av 33 % TS till 95 % TS

Specifikt värme för uppvärmning av vatten 4.19 MJ/ton, K (= 1.16 kWh/ton, K)
Uppvärmning av slamvatten 20-100 °C: $0.67 \text{ ton} * 80 * 4.19 = 225 \text{ MJ} = 62 \text{ kWh}$

Specifikt värme för uppvärmning av slam-TS ca 1.05 MJ/t,K (= 0.35 kWh/t,K)
Uppvärmning av torrs substans 20-100 °C: $0.33 \text{ ton} * 80 * 1.05 = 28 \text{ MJ} = 8 \text{ kWh}$

Förångningsvärme för vatten 2.26 MJ/ton = 628 kWh/ton,K
Förångning av slamvatten: $(1 - (0.33 + 0.33 * 5/95)) * 2261 \text{ MJ/ton} = 1476 \text{ MJ} = 410 \text{ kWh}$

Beräknat värmebehov utan transmissionsförluster etc: = **1728 MJ/ton = 480 kWh/ton**

Tabell 2-30 Värmebehov för termisk slamtorkning från 33 % till 95% TS-halt

För en typlanläggning för 100 000 pe med en årsmedelproduktion av 5.5 ton/dygn TS, motsvarande 16.3 ton/d avvattnat slam med 33 % TS, blir det ett nettovärmebehov av 28 000 MJ/dygn. Med antagande av 10 % förluster vid värmewäxling, torkning etc. erhålles då ett bruttovärmebehov av ca 31 000 MJ/dygn motsvarande 8600 kWh/dygn för torkning av slam.

Enbart torkning av slam behöver därmed lika mycket värme som hela reningsverket i övrigt.

*Den termiska torkningen av slam kräver en mycket hög insats av energi.
Därför är det av principiell betydelse att noga pröva om det verkligen är
nödvändigt och lämpligt med en sådan torkning.*

3. ÅTGÄRDER FÖR EFFEKTIVARE ELANVÄNDNING

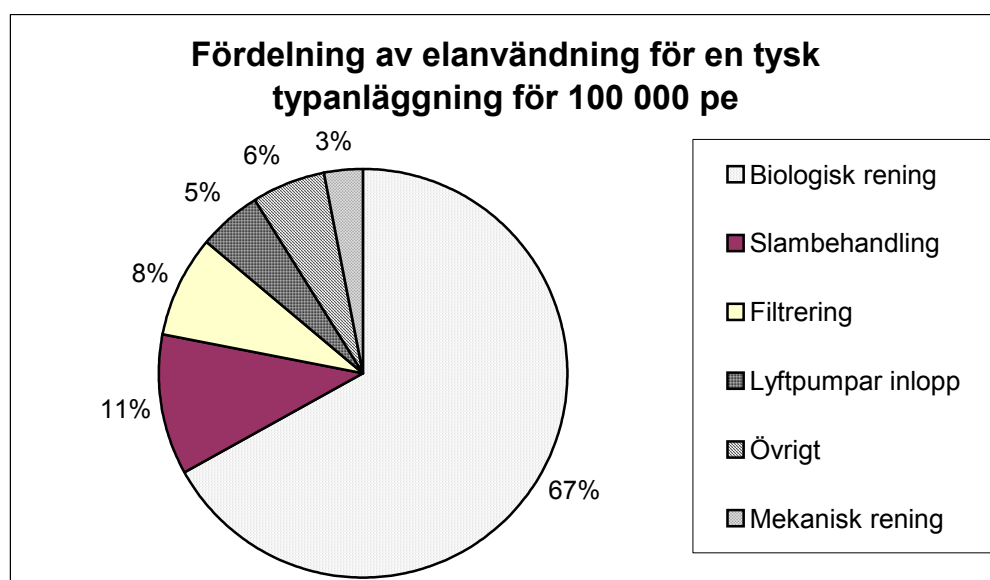
3.1 Allmänna råd

Kostnader för energi vid ett reningsverk domineras som regel av elkostnaderna. Därför skall tyngdpunkten för en energistudie för effektivare energianvändning alltid läggas på möjligheter att effektivisera elanvändningen. En sådan studie görs då utifrån två olika perspektiv men med gemensam optimering:

1. Utifrån perspektivet från en specialist på rening av avloppsvatten
2. Utifrån perspektivet från en specialist på effektiv energianvändning.

Som ett grundläggande mål gäller att effektivisera elanvändningen (MWh/år eller kWh/år) och att reducera det maximala effektbehovet (kW). Därmed uppnås både en reduktion av rörliga kostnader för elenergi och av fasta kostnader för den abonnerade eleffekten.

Anm. Samtidigt reduceras därmed emissionen av koldioxid CO₂ då elproduktion idag på marginalen är baserad på importerad kolkraft.



Figur 3-1 Fördelning av elanvändning för ett medelstort reningsverk på olika kategorier av elförbrukare

Av den totala elanvändningen förbrukas den övervägande delen för motordrifter, se figur 3-1. Andelen för övriga förbrukare (belysning, elvärme, styrning, etc) är relativt liten. Den största förbrukaren (andelen är ofta 50-70 % av totala elanvändningen) är blåsmaskinerna för biologisk rening/luftningsbassäng. Den näst största förbrukaren (ca 20 %) gäller som regel för slamhanteringen (slampumpar, centrifuger)

Den största besparingen av energikostnaderna kan som regel erhållas inom elanvändningen genom:

- + *Optimering av metoder för behandling av avloppsvatten och slam*
- + *Effektivisering av motordrifter*

Vid analys av befintlig utrustning är det en fördel att inordna besparingsåtgärder i tre grupper, motsvarande *omedelbara åtgärder*, *kortfristiga åtgärder* och *villkorliga åtgärder*. Med villkorliga åtgärder menas att de är beroende av andra åtgärder som ändringsarbeten eller ev ombyggnader för att kunna realiseras. Granska kritiskt olika möjligheter till effektivare motordrifter:

1. Anpassa drifttiderna till de verkliga behoven:

Granska och optimera program för styrprogram eller kopplingsur, genom bättre anpassning med t ex stegvis inkoppling eller genom användning av ny reglerutrustning. Ofta hör detta till kategorin omedelbara åtgärder.

2. Anpassa nyttoenergin till det verkliga behovet:

En förutsättning för detta är att man granskar och analyserar det erforderliga nyttoenergibehovet (t ex för inblandning av syre/luft, volymströmmar (m^3/h), trycknivå (bar, Pa), belysningsstyrka (lux), etc). För detta krävs mätningar och trimning av styr- och reglersystem.

3. Optimera verkningsgraden för drivsystemen:

En energimässig förbättring av processer kräver som regel investeringar i nya komponenter eller i hela drivsystem. Då krävs mätningar och/eller utvärderingar av det befintliga systemet, en dimensionering av drivsystem och en granskning av kostnader samt tekniska och lönsamhetsmässiga bedömningar.

Vid planering av nya anläggningar är det lämpligt att använda de tre stegen:

1. Minimera behovet av nyttoenergi
2. Använd drivsystem med optimal verkningsgrad (med lämpliga driftpunkter för pumpar, blåsmaskiner, centrifuger, etc)
3. Genomföra en optimering av driften

Motorer kan inte optimeras var för sig. För detta krävs att man undersöker möjligheterna att minska behovet av nyttoenergi för transport av avloppsvatten, luft och slam mm.

3.2 Motordrifter

3.2.1 Drivsystem

För drivsystem ligger den stora sparpotentialen i styrning/reglering såväl som i processoptimering (t ex minskning av transportkapacitet). Ytterligare sparpotential finns i utrustning för anpassning av motorlasten (frekvensomriktare) och för kraftöverföring (koppling motor - utrustning). På grund av en hög elförbrukning i absoluta tal, kan ofta tydliga energibesparingar erhållas genom relativt små procentuella förbättringar.

Innan en motor byts ut måste först behovet av nyttoenergi, som skall täckas av motorn, noga analyseras och det effektiva energibehovet optimeras. Därefter granskas drifttider och effektbehovet för motorn, såväl som styrning eller reglering. Därefter optimeras kraftöverföringen mellan motor och arbetsmaskin (följande prioritet gäller då:

- 1- direkt koppling
- 2- flat remdrift
- 3- kilrepsdrift

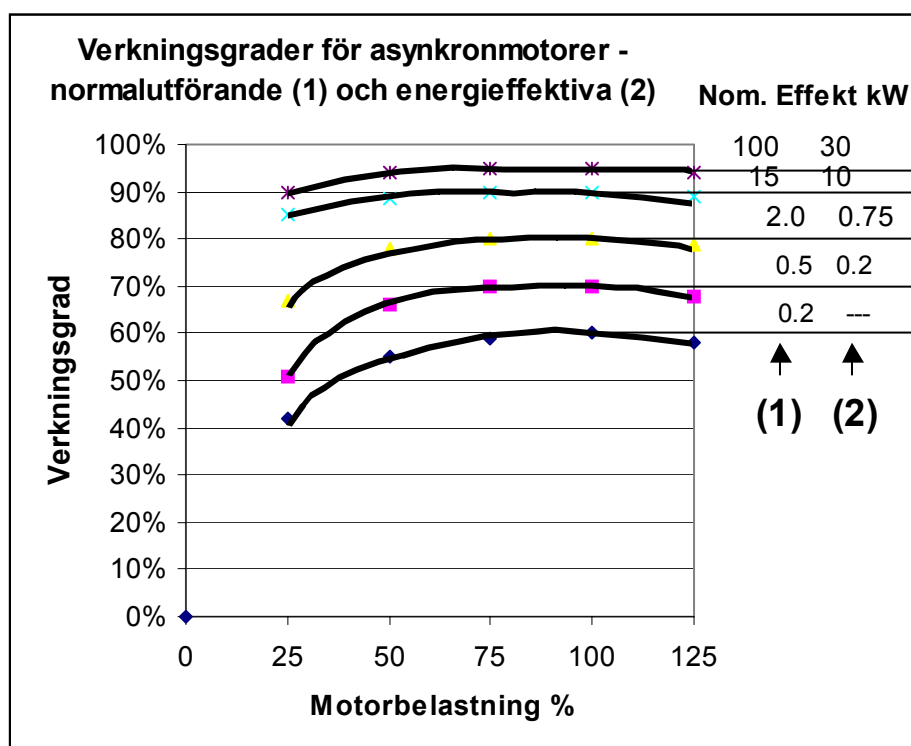
Först därefter görs valet av den energimässigt optimala motorn.

En motor är ännu ingen drift - och en bra motor gör inte att driften blir "bra"! Den största energibesparingen kan endast uppnås då hela processkedjan totaloptimeras och inte endast enskilda ingående komponenter.

3.2.2 Motorer vid reningsverk

Den vanligaste motorn vid reningsverk är asynkronmotorn (kortsloten motor). Motorer med förhöjd verkningsgrad (speciellt energieffektiva motorer) har en verkningsgrad som nära den nominella effekten med flera procent överstiger verkningsgraden för motorer i normalutförande. Se figur 3-2. Innan dessa motorer installeras måste dock noga undersökas, om motorns driftpunkt verkligen ligger nära den nominella effekten under en större del av drifttiden.

Nya motorgenerationer visar såväl vid nominell effekt som vid dellast en genomgående högre verkningsgrad än de tills idag vanliga asynkronmotorerna.

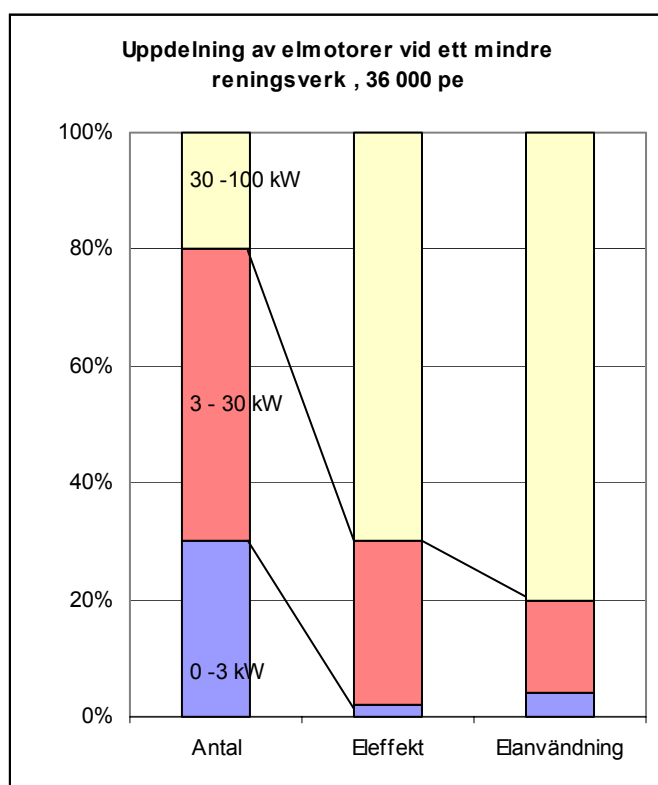


Figur 3-2 Verkningsgraden för asynkronmotorer vid normalutförande och med förhöjd verkningsgrad som funktion av belastning (1500 r/min; 50 Hz). T ex 0.2 kW motor med 50 % belastning: Utförande med förhöjd verkningsgrad (2) når en verkningsgrad av 65 % medan en med normalutförande(1) endast når 55 %.

Anm. Insatser för eleffektiviserande åtgärder skall i synnerhet inriktas på motordrifter, och då speciellt på motorer med stor energiförbrukning (stora motorer och/eller långa gångtider).

På reningsverk är det vanligast med många små motorer, se figur 3-3. Men dessa har en oväsentlig del av totala elanvändningen för motordrifter. Ansträngningar för elbesparingar skall därför inriktas på de större motordrifterna.

Om enbart de större motorerna undersöks på ett systematiskt sätt, så kommer detta medföra att den största delen av elanvändningen blir granskad. Exempelvis så svarar de 20 största motorerna vid ett reningsverk ofta för ca 75 % av den totala elförbrukningen.



Figur 3-3 Uppdelning av elmotorer vid ett reningsverk för 36 000 pe

Observera att de större motorerna (30-100 kW) svarar för ca 70% av totala effektbehovet och ca 80% av totala elanvändningen

3.2.3 Motordrifter med konstant varvtal

Kortslutna asynkronmotorer (vanligaste elmotorn) visar upp en god verkningsgrad först vid en viss storlek på motor och en viss storlek på belastning. För t ex en nominell effekt av 22 kW uppvisar energieffektiva motorer en verkningsgrad av ca 92% vid belastningar över 75 %. Mindre motorer med en nominell effekt av ca 2.2 kW har en verkningsgrad av endast 80%. Detta är en vanlig verkningsgrad för dagens motorteknik. Förbättrade verkningsgrader har under senare tid uppnåtts för nya sk energieffektiva motorer framför allt i området 1-30 kW nominell effekt.

Anm. I praktiken används ofta motorer (lågprismotorer) med lägre verkningsgrader. Detta innebär ofta onödigt stora livstidskostnader. Verkningsgraderna för lika stora motorer skiljer sig åt från tillverkare till tillverkare. Det kan också vara betydande skillnader inom en typserie.

Exempel 1

En liten skruvpump drivs med en motor med den nominella effekten 1.1 kW. Skruven är i kontinuerlig drift med en dellast av ca 70 %. Motorn har enligt märkplåten en verkningsgrad av 0.72 (72%) vid nominell effekt. Genom att använda en effektivare motor med förhöjd verkningsgrad av 0.79 (79%) kan vid en drifttid av 8500 tim/år, elanvändningen teoretiskt reduceras med 825 kWh/år. En reducerad elkostnad med 413 kr/år (0.50 kr/kWh) gör att det vid ett motorbyte kan vara lönsamt med en merinvestering av 3750 kr (vid 7 % ränta).

Exempel 2

En motor med en nominell effekt av 22 kW är i drift under ca 2000 timmar per år vid 75 % av nominell last. Vid val av en motor med verkningsgraden $\eta=92.5\%$ i stället för $\eta=91.0\%$, ger en detta en minskad elanvändning med 600 kWh/år. Det ger en minskad elkostnad med ca 300 kr/år som kan försvara en merkostnad av ca 2700 kr vid upphandling av motorn.

Exempel 3

En kompressor för inblåsning av luft i det biologiska steget, drivs av en 110 kW asynkronmotor. Motorn är i kontinuerlig drift med en genomsnittlig belastning av 80 % av nominell last. För denna stora elanvändare gäller det att hitta den bästa möjliga motorn. Genom valet av en motor med 1.1 % bättre verkningsgrad ($\eta=0.958$ i stället för 0.947) minskar elanvändningen med 8480 kWh/år. Detta motsvarar en minskad kostnad med 4240 kr/år, som ger möjlighet till att göra en lönsam merinvestering av 38 500 kr. Redan efter några driftsår för den befintliga motorn kan det således vara lönsamt att byta ut den mot en effektivare drift.

För alla motorer med stort antal driftstimmar per år och/eller med höga nominella effekter, motsvarande en hög elanvändning, lönar det sig att ställa höga krav.

Att tänka på är att en ”verkningsgrad” inte enkelt kan hämtas från en katalog. Dessa värden anges på olika sätt av tillverkare. För varje motor med en verklig besparingspotential skall därför hämtas in uppgifter på verkningsgrader för varje enskilt fall. Dessa garantivärden skall tillhandahållas enligt avtal. Likaså skall regleras hur man skall förfara då angivna garantivärden inte kan innehållas.

För att säkerställa verkliga värden för verkningsgrader, gäller det för större motorer att inom ramen för anbud kräva in ett provprotokoll med garanterade verkningsgrader.

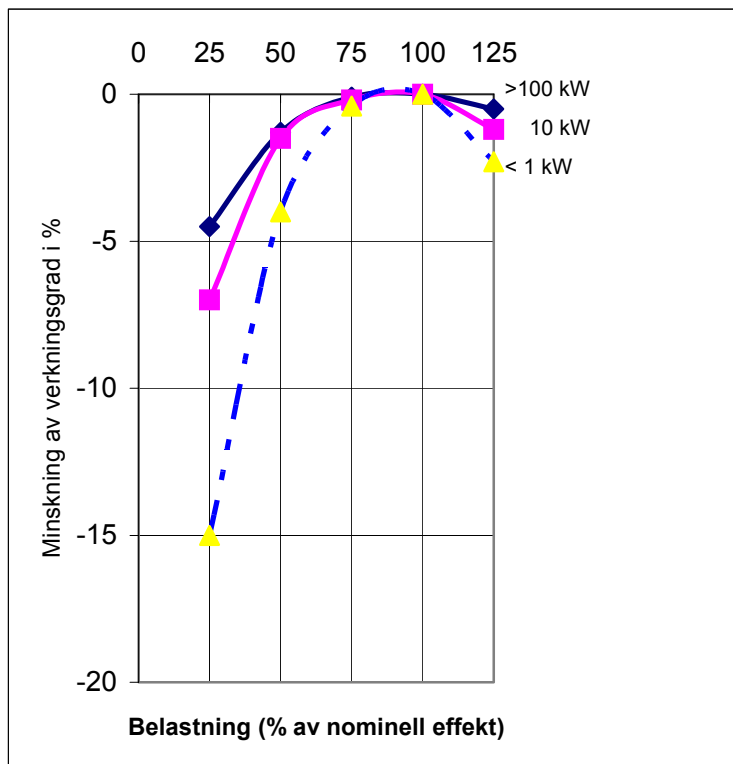
Inom ramen för garantidata för större sammanbyggda aggregat som pumpar och blåsmaskiner etc, gäller det att kräva in data för garantiprov med den använda motorn. Härvid skall alla aktuella drifttillstånd för hela aggregatet provas igenom och driftparametrar fastställas med garantivärden.

Exempel: Verkningsgraden för en 10 kW motor är 88 % vid nominell belastning. Vid en dellast av endast 30% sjunker verkningsgraden med ca 5% till ca 83%.

3.2.4 Dimensionering av motorer

Utgående från den erforderliga effektiva axeleffekten och den därav följande motorstorleken, måste också undersökas motorer inom nästa högre effektklass (upp till ca dubbla den nominella effekten).

Den absoluta förlusten vid granskning av axeleffekten kan vara mindre för en större motor än för den konventionellt dimensionerade motorn.



Figur 3-4 Ändring av verkningsgraden vid avtagande belastning

Figur 3-4 visar verkningsgradens beroende av belastningen i en förstorad skala. Därav följer att verkningsgraden vid dellast för en överdimensionerad motor kan vara högre än verkningsgraden vid fullast för en motor med exakt anpassad motoreffekt.

I praktiken gäller det att noga prova användning av en motor enligt följande kriterier:

- Möjligheter att bygga samman via direktkoppling (beror av storlek, vikt, axeldimensioner)
- Maximalt tillåtet moment för det drivna aggregatet (en större motor ger ett större dragmoment som eventuellt kan bli mer än aggregatet klarar av)
- Den termiska belastningen för motorn måste beaktas vid många start och stopp.
- Elnätets kvalitet – vad gäller tillräcklig startström inkl skydds- och kopplingsdon samt kompensation för reaktiv effekt, etc.

Erfarenheter från reningsverk visar att motorerna inte alltid kan arbeta inom sitt ideala arbetsområde. Detta beror som regel inte på bristande planering, utan på speciella förhållanden vid reningsverken:

- Vid de hydrauliska processer som gäller för reningsverk, blir det starkt växlande belastningar. Motorn måste dimensioneras för den maximala belastningen.
- Reningsverk är ofta överdimensionerade
- Lastmomentet kräver en relativt stor motor utan att dess nominella effekt kan utnyttjas till fullo.

Om motorer dimensioneras så att de kommer att gå med dellast under långa tider, så gäller det att överväga följande åtgärder:

- Installation av ytterligare ett mindre drivsystem, anpassat för driften vid dellast (t ex en liten pump för torrt väder och stora pumpar som får ta över driften vid topplast).
- Användning av frekvensomriktare för reduktion av varvtal och effekt
- Byte av överdimensionerade drifter och aggregat till sådana som är bättre anpassade till dagens kapacitetsbehov eller till behovet inom en nära framtid.
- Intermittent drift (start/stopp med utrustning för mjukstart och mjukstopp)

Mjukstarter

Vid dimensionering av motorer måste beaktas belastning på elnätet vid inkoppling av större motorer. Särskild hänsyn krävs vid drift med hjälp av reservkraft (nödström). Mjukstarter är utrustning för elektronisk effektregering, som kopplas in i serie med motorn. Användning av mjukstarter medför ytterligare en tilläggsförlust av ca 3 Watt per ampère driftström. Därför skall dessa endast överbrygga startförloppet för större motorer upp till normalt driftvarvtal.

Mjukstarter reducerar startströmmen till motorer från 6-8 ggr strömmen vid nominell effekt vid direktstart, resp. från 3-4 ggr vid Y-delta (Y/Δ) koppling till endast ca 2-3 ggr strömmen vid nominell last. Det blir inte heller några strömtoppar vid omkopplingar som vid Y-delta (Y/Δ) kopplingar. Därtill minskar även de mekaniska belastningarna för det drivna aggregatet, eftersom det inte uppstår några slag vid omkopplingar. Mjukstarter används i följande situationer:

- Vid drifter som ofta kopplas in och ur
- Vid svaga nät (t ex på landsbygden) där inkoppling av en motordrift ger spänningsfall.
- Inom områden där nätstörningar, t ex där Y/Δ -omkopplingar, inte är önskvärda.
- I små anläggningar där höga startströmmar skulle kräva höga anslutningseffekter.

I praktiken rekommenderas att använda mjukstarter vid små anläggningar för motorer med en effekt större än ca 3 – 5 kW. En frekvensomriktare för styrning av varvtalet uppfyller redan kraven för mjukstart.

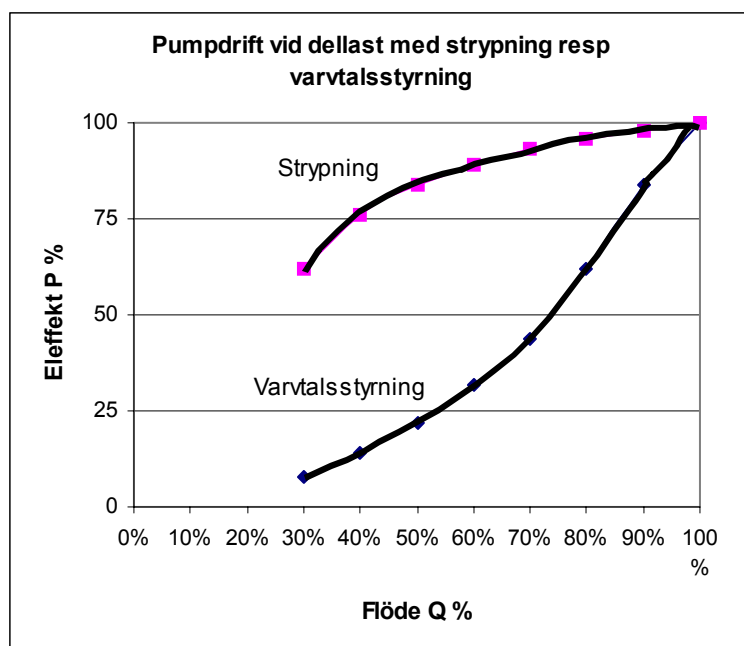
Startförfarande:	Direkt	Y-delta	Mjukstartare
Startström :	ca 6-8 ggr I_N	ca 3-4 ggr I_N	ca 2-3 ggr I_N

Startströmmar för asynkronmotorer vid olika startförfaranden med tillhörande faktorer av nominell motorström

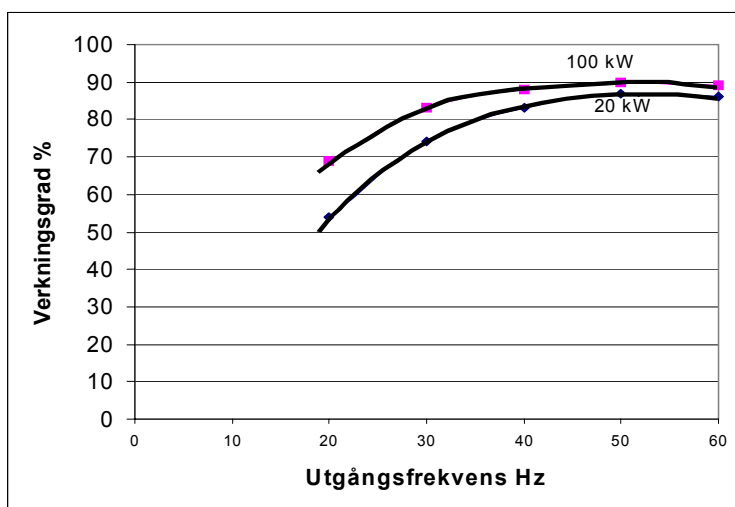
3.2.5 Styrning av varvtalet

Reningsverk kännetecknas av kraftigt varierande belastningar i många delar. Då en intermittent drift inte kan tillåtas med hänsyn till använda reningsmetoder, måste nyttoenergin anpassas till det effektiva behovet. Stora elbesparingar kan då erhållas genom styrning av varvtalet i stället för att använda den traditionella strypregleringen.

Det betyder, att den erforderliga axeleffekten och därmed det elektriska effektbehovet, t ex vid en drift med dellast, kan reduceras på motsvarande sätt. Med hänsyn till olika drivna aggregat kan en större eller mindre del av elförbrukningen reduceras vid dellast. Se figur 3-5.



Figur 3-5 Erforderlig eleffekt för pumpdrift vid strypning av flöden resp vid varvtalsstyrning



Figur 3-6 Totalverkningsgrad för frekvensomriktare och motor (vid kvadratisk ökande motriktat moment, som gäller för t ex pumpar och fläktar)

Tabell 3-7 visar typiska exempel på verkningsgraden för olika drifter för en centrifugalpump vid ett antaget varvtalsområde av $n_{\text{nom}} : n_{\text{min}} = 3:1$.

a/ Frekvensomriktare med asynkronmotor

b/ Asynkronmotor med polomkopplare (med tre skilda härvor) motsvarande tre fasta varvtal (1500/1000/500 r/min)

Varvtal (r/min)	Totalverkningsgrad	
	Frekvensomriktare	Polomkopplingsbar motor
1500	0.849	0.85
1250	0.840	---
1000	0.801	0.73
750	0.700	0.53
500	0.466	---

Tabell 3-7 Verkningsgrader för drivsystem med variabelt varvtal för motor med axeleffekt 7.5 kW och max varvtal av 1500 r/min.

Några slutsatser från tabell 3-7:

Frekvensomriktare:

När det krävs steglös anpassning av varvtalet är lösningen med frekvensomriktare och asynkronmotor den mest energieffektiva lösningen (t ex drift av centrifugalpumpar). Att tänka på är att det skapas nätstörningar genom övertoner vid ändringar av frekvensen. Om det är nödvändigt för att undvika störningar på t ex elektronik, kan krävas speciella nätfiler.

Polomkopplingsbar motor:

Om det är tillåtet med en stegvis variation av varvtalet och då varvtalet under längre tider är 500 r/min och 1500 r/min, då kan en polomkopplingsbar motor vara en både energieffektiv och en kostnadseffektiv lösning.

Praktiskt exempel:

För pumpar i slutna system gäller att effektbehovet för driften beror av flödet och varvtalet med tredje potens. Om det tidvis endast krävs halva flödet, minskar effektbehovet till endast 12.5 % av nominell effekt, när varvtalet halveras med hjälp av frekvensomriktare. Om flödet stryps med skivor eller ventiler är effektbehovet ca 80 % av nominell effekt. Med en frekvensomriktare erhålls därmed en minskad effekt med ca 85 % jämfört med en traditionell strypning.

Frekvensomriktarens egenförlust är ca 2-5 % av driveffekten för motorn vid nominell effekt. Motordrifter som skall gå med fullast under längre tider kan utrustas med utrustning för överbryggnings så att frekvensomriktaren kan förbikopplas och därmed eliminera denna förlust. Vid dimensionering finns ytterligare krav att ta hänsyn till:

- Motors utformning
- Skyddsklass (explosionsskyddad, skyddad mot vattensprut, etc)
- Vilket slags kraftöverföring mellan motor och aggregat.
- Hur ofta in- /urkoppling sker.

T ex visar ex-klassade motorer på grund av sin större luftspalt mellan stator och rotor, lägre tillåten ytttemperatur, etc en sämre verkningsgrad än för normala motorer.

3.3 Övrig elanvändning

Elmotorer dominerar elanvändningen vid reningsverk. Dock finns det också lönsamma effektiviserande åtgärder som kan göras på sk övrig elanvändning. Detta är viktigt att känna till vid nybyggnad eller vid större ombyggnader. Till denna kategori hör främst inner- och ytterbelysning samt ventilation.

3.3.1 Effektiv belysning

Innerbelysning

Vid dimensionering av en belysningsanläggning måste man tänka på den erforderliga nominella belysningsstyrkan ($\text{lux} = \text{lumen per m}^2$), som är ett mått på hur mycket ljus som träffar en yta. Vid planering av belysning måste också beaktas att belysningsstyrkan minskar med tiden.

I NUTEK:s broschyr "*Programkrav för god och energieffektiv belysning inom verkstadsindustrin*" definieras kraven för både en god och en energieffektiv arbetsbelysning. Här redovisas underlag för vad som ingår i en god planering av belysning för både ett lågt effektbehov och en effektiv energianvändning. Exempel:

Skallkrav för bra belysning:

- Normala synkrav: Allmänbelysningsstyrkan skall inte understiga 300 lux, medelvärde, mätt 0.85 m över golv. Belysningsstyrkan på synobjektet skall inte understiga 300 lux.
- Höga synkrav: Allmänbelysningsstyrkan skall inte understiga 500 lux, medelvärde, mätt 0.85 m över golv. Belysningsstyrkan på synobjektet skall inte understiga 500 lux.

Energieffektivitet:

- För att minska den installerade effekten skall högfrekvensdrift väljas om tekniken så medger.

Med högfrekvensdrift kan den installerade effekten sänkas med ca 20 % jämfört med konventionella driftdon för 50 Hz. Även livslängden för ljuskällan ökar med ca 20 %.

Andra fördelar är t ex:

- Ljuskällor tänds momentant och samtidigt
- Defekta ljuskällor kopplas bort automatiskt
- Mindre värmebelastning

Börkrav för installerade effekter:

- För normala och höga synkrav: Installerad effekt för lysrörsarmaturer bör vara max $2.2 \text{ W/m}^2/100 \text{ lux}$ (effekt för särskild arbetsplatsbelysning ingår inte).
- För normala och höga synkrav: Installerad effekt för andra urladdningslampor bör vara max $1.5 \text{ W/m}^2/100 \text{ lux}$ (effekt för särskild arbetsplatsbelysning ingår inte).

Anm. Detta inkluderar även effekt för ljusarmaturens driftdon.

Energiförbrukning

Styr- och reglerutrustning bör installeras, där det är praktiskt möjligt, för att anpassa drifttiden till verkliga behov. Exempel:

- Närvarodetektor som släcker belysningen på förinställd tid när ingen vistas i lokalen (eller delområde till lokal)
- Reglering av ljusnivå efter dagsljusstillgången
- Separat styrning av armaturer nära fasader eller takfönster

Med effektiv belysning kan de årliga kostnaderna påverkas genom:

- Reduktion av belysningseffekten som ger minskade effekt- och energiavgifter
- Reduktion av antalet ljuskällor kan minska underhållskostnaden
- Reduktion av antalet ljuskällor tillsammans med minskad brinntid kan minska ev. kostnader för deponering av förbrukade ljuskällor (sk miljöavgift)

Typ av lampor	Faktor
Glödlampa	4.0
Halogen-glödlampa	1.6
Lysrör/lysrörslampa	1.0
Kviksilverånga-högtryckslampa	0.8
Indium-amalgam-lysrörslampa	0.6
Natriumånga-högtryckslampa	0.5
Halogen-metal-lampa	0.5

Tabell 3-8 Omräkningsfaktorer för installerad effekt för olika sorters lampor

Ytterbelysning

Ljusutbytet skiljer sig mycket för olika lampor att användas för belysning utomhus. Lågtrycksnatrium-lampor t ex kan för samma eleffekt ge sex gånger högre ljusutbyte än halogenlampor. Då det inte är så noga med korrekt färgåtergivning utomhus kan sådana lampor användas för ytterbelysning.

Höga ljusutbyten är delvis förenat med vissa nackdelar som färgåtergivning, tändning vid låga temperaturer eller vid återtändning. Låt specialister ge råd vilka armaturer och ljuskällor som lämpar sig bäst för varje tillämpning och som är energieffektiva.

In- och urkoppling av ytterbelysning skall styras över sensorer för dagsljus.

3.3.2 Effektiv ventilation/avfuktning

För reningsverk gäller krav på till- och frånluft för kontrollrum och speciellt för rum med elektriska installationer. För dessa områden står säkerhet och funktion för elektriska och elektroniska system i förgrunden.

För ventilation av stora hallar med öppna bassänger är kravet att hålla nere den relativa fukthalten för att undvika dimma eller kondensering på kalla ytor. Detta kan kräva stora luftflöden, som innebär avsevärda värmebehov och elförbrukning för drift av fläktar.

Ett väsentligt effektivare sätt att reducera fukthalten i lokaler och undvika olägenheter med kondens är att använda sig av avfuktare. Dessa tar endast bort fukten ur luften till en viss nivå, men behåller värmen i luften, som återcirkuleras till lokalen. Storleken på avfuktningsslaggregat bestäms av arean på öppna bassänger, som bestämmer fuktavgivning till lokalen. Genom att täcka över öppna bassänger reduceras fuktavgivningen till lokalen och därmed minskar behovet att transportera bort fukt. Prioritering för effektiv energianvändning:

- Minska fuktavgivning genom att täcka över öppna bassänger. Därmed minskas behovet av ventilation.
- Använd avfuktare i stället för ventilation för att transportera bort fukt. Vid avfuktning kan temperaturen i lokalen sänkas utan att det blir dimma eller orsakar kondensation.

Avfuktare används traditionellt vid torkning av lokaler, som har drabbats av omfattande fuktskador eller för att skydda utrustning från korrosionsangrepp.

3.3.3 Övrig elektrisk utrustning och apparater

Denna grupp av elförbrukare omfattar t ex kontors- och laborieutrustning såväl som motordrifter för spjäll och ventiler. Det är meningsfullt att undersöka dessa elförbrukare då det kan finnas intressanta, lönsamma och ofta enkla eleffektiviserande åtgärder.

Exempel:

- Konsekvent bortkoppling av utrustning, som inte används. Detta bör ske även kortfristig.
- Använd specifik elanvändningen som nyckeltal vid anskaffning av nya apparater.
- Utrusta kopiatorer, laborieutrustning (och kaffebyggare!) med kopplingsur.
- Prova möjligheten att ta ur drift kylskåp som inte används regelbundet.
- Spjäll och luckor som manövreras pneumatiskt har stora förluster på grund av omvandlingen av el till tryckluft ger stora förluster. Till detta kommer förluster vid fördelning och genom läckage. Elektriska motordrifter är att föredra.
- Reglerventiler skall också i allmänhet utrustas för motordrifter. Undantaget är användning i relativt snabba och dynamiska reglerkretsar. Där kan pneumatisk drift vara en fördel.
- För styrning av tryckluft i automatiska processer används magnetventiler som pilotventiler. Till dessa användes tidigare spolar med en effekt av 8 W. Nyare ventiler kan styras av spolar med en effekt av endast ca 3 W. Magnetventiler med mycket lång drifttid i tillslaget läge kan bytas mot ventiler med bistabilt utförande.

3.4 Styrning och reglering

3.4.1 Uppgifter

Effektivisering av elanvändningen bestäms främst av en optimering av använda metoder, anpassning till verkliga behov och åtgärder av driftmässig karaktär. Vad gäller maskiner gäller det att göra ett väl grundat val av arbetsmaskin, t ex blåsmaskin. Härvid gäller det inte bara att göra en optimering i arbetspunkten vid nominell effekt (maximalt effektbehov) utan det gäller framför allt anpassning till olika dellaster. Vid många reningsverk finns ingen möjlighet till elbesparing på grund av otillräckliga möjligheter till anpassning av driveffekt/varvtal (t ex tillförd luftmängd) till förhållanden med låg belastning.

En förutsättning för behovsanpassad styrning är en tillräckligt noggrann sammanställning av behovet i tid och för enskilda belastningar. Den nödvändiga studien av olika behov baseras som regel på mätningar av fysikaliska storheter som nivå, flöde, syre-halt (O_2), temperatur etc.

Möjligheterna är utomordentligt stora för en effektivare elanvändning genom en optimerad styrning och reglering, då de olika anläggningsdelarna och tillhörande motorer är dimensionerade för långt högre belastningar än de effektiva drifter som finns som alternativ idag. På grund av överdimensioneringar lönar det sig, att ta reda på om ingående drifter kan göras reglerbara.

Det en huvuduppgift för mät - , styr - och reglersystem att anpassa tillförseln av energi till de verkliga behoven.

3.4.2 Datasamling av energianvändning

Anläggningar med minimal mätutrustning, används sällan/aldrig i sin optimala driftpunkt. Detta förhållande medför alltför stora säkerhetsmarginaler. Insamling av driftdata får då en stor betydelse för att skapa effektiv elanvändning. En optimering av driften kan sällan göras utan en målinriktad utvärdering av insamlade data. System för datasamling ger möjlighet till:

- Säkerhetsinställning för reningskapaciteten
- Behovsanpassad styrning och reglering
- Övervakning av drift för enstaka objekt och anläggningsdelar (driftsäkerhet)
- Kontroll av energianvändning (t ex större elförbrukning för en pumpdrift med utslit löphjul eller en förskjutning av driftpunkt)
- Underlag för en grov eller en detaljerad energianalys

Det krävs möjligheter att samla data för rådande effekter och för att se dess samverkan i driften och därmed kunna realisera potentialer för effektivare drift. Uppgiften gäller både installation av mätgivare och en samtidig datasamling för olika objekt, särskilt för alla större elanvändare.

Grova metoder med manuell avläsning och efterföljande manuell hantering av data, kan inte ge en tillräckligt noggrann bild av elförbrukningen. Det ger inte ett tillräckligt underlag för att skapa effektiv elanvändning för t ex blåsmaskiner, utrustning för slamhantering och för pumpstationer.

Utrustning för datainsamling med fjärravläsning måste som regel ingå i ett mätsystem. En installation i efterhand av pulsgivare, lokala dataminnen för registrering av eleffekter och elenergi, vattenflöde, gas- och värmemätare etc är idag möjligt med moderna system. Överföringen av lagrade data kan göras med kabel, via modem eller via radio till en datasamlare. En förutsättning för studie av eleffekter är samling, överföring och lagring av pulståg. Det är endast genom antalet pulser inom en definierad tidsperiod som effekter kan utvärderas. Vid anläggningar som utrustats med kontrollsystem, kan som regel data läsas in för elförbrukningen för de större motordrifterna. Insamlade data måste emellertid också utvärderas. Stigande elförbrukning eller större svängningar i eleffekter vid likartad drift är indikationer på att det finns potential för eleffektivisering, vars storlek och orsaker då måste klarläggas.

Som minimikrav gäller datasamling för elanvändning vid följande anläggningsdelar:

- Pumpar och pumpstationer
- Luftat sandfång
- Biologiskt reningssteg (luftningsbassäng)
- Slambehandling
- Slampumpar
- Filtrering

En tillräcklig datasamling med utvärdering av eleffekter för de största elanvändarna är grunden för att skapa en effektiv elanvändning.

3.4.3 Styrning av luftningsanläggning

Det biologiska reningssteget (luftningsbassäng) och särskilt tillförseln av luft har den klart största betydelsen för elförbrukningen. Detta reningssteg svarar för 50-70 % av den totala elanvändningen. Verkningsfulla effektiviserande åtgärder på detta område kan sammanfattas som behovsanpassad styrning och reglering. Här skall behandlas vikten av överordnade analys- och mätstationer för att få en effektiv elanvändning.

Analys- och processmätstationer

Gränsen för den energibesparing som kan åstadkommas med behovsanpassad styrning och reglering, bestäms av det inställda övervakningsvärdet. Att tillgodose detta värde är en uppgift av högsta prioritet.

Att utrusta ett reningsverk med analys-mätstationer är inte bara förbundet med investeringar utan också med en kostnad för drift- och underhåll. Av detta följer att installation och underhåll av sådana mätstationer med givare tillsammans med anslutande utvärdering av mätdata har särskild betydelse för varje reningsverk. Kvalitativa storheter som gäller för styrning av driften vid ett reningsverk:

- $\text{NH}_4\text{-N}$ Ammoniumkväve
- $\text{NO}_3\text{-N}$ Nitratkväve
- $\text{NO}_x\text{-N}$ Nitrat- och nitritkväve
- P_{tot} Totalfosfor
- COD Kemiskt syrebehov
- BOD Biologiskt syrebehov
- TOC Total organiskt kol (som ersättning för COD)
- Redox Redox-potential

Vilka analysstationer som skall användas vid inloppet och vid utloppet till anläggningen, kräver en långtgående studie för varje reningsverk.

För energioptimering lämpar sig mätsystem inom följande områden:

<i>Biologisk process:</i>	BOD	Biologiskt syrebehov
	NH ₄ -N	Ammoniumkväve
	NO ₃ -N	Nitratkväve

<i>Fosforering:</i>	o-PO ₄ -P	Ortofosfat
---------------------	----------------------	------------

Möjligheterna till effektivare elanvändningen vid luftningsbassäng kan endast realiserats när ett tillförlitligt mätsystem står till förfogande för automatiserad styrning och driftkontroll.

3.4.4 Praktiska tips för styrning av reningsverk

- Objekt med en stor potential för effektivare elanvändning är pumpar för återföring av slam och för intern cirkulation vid luftningsbassänger. Detta beror på den långa drifttiden. Dessa pumpar skall styras så att kapaciteten är proportionell mot mängden avloppsvatten. Då krävs flödesmätning, som samtidigt också kan användas för rätt dosering av fällningsmedel. En förutsättning är tillgång till pumpar vars kapacitet kan förändras.
- I galleranläggningen och tillhörande transportanordningar är det en fördel med behovsanpassad styrning. Galler styrs via differenstryck (nivå före och efter galler) kombinerat med tidsstyrning. Transportband och transportskruvar, som står i förbindelse med galleranläggningen, kopplas in endast kortvarigt.
- Antalet spolningar av filter skall minimeras. Spolningar skall t ex inte ske schablonmässigt dagligen, utan med hänsyn till graden av igensättning och stigande tryckfall.
- En enstaka processlinje skall automatiskt stängas av vid för låg belastning (gäller vid flera galler, försedimenteringsbassänger, luftningsbassänger, filter, centrifuger, pressar, etc) resp ge signal till driftpersonalen.
- Styr så att utrustningen kan drivas i sin optimala driftpunkt. Med tillgång till t ex två små och en stor pump kan det för ett bestämt belastningsfall vara lämpligt att använda den enda stora pumpen i stället för drift med de två mindre.
- Omrörare måste inte ständigt vara i drift. Enkel styrning med drifttid/pauser ger reducerad elanvändning proportionell mot viloperiodernas längd.
- Borttagande av primärslam skall inte styras med hänsyn till tiden, utan med hänsyn till behovet. Den bortsugna mängden och/eller tiden begränsas till en viss halt torrsustans. Hänsyn skall då även tas till tömningscykler och till flödesmätning.
- Den borttagna mängden överskottsslam kan beräknas. Med hjälp av flödesmätning kan den borttagna mängden slam noggrant styras. Borttagning av slam efter tiden är mindre noggrann och görs med en för stor säkerhetsmarginal, som medför onödig pumpdrift.
- Tider med lägre eltariff kan utnyttjas för förlopp vars drift kan väljas relativt fritt som bortsugning från sandfång, renspolning av filter och ev centrifugering av slam.

- Användning av effektstyrning (eller effektvakter) för att undvika effekttoppar på elanvändningen.
- Alla motorer till reningsprocesserna, med undantag för hjälpmotorer med litet effektbehov (ex spjällmotorer, ställmotorer etc) skall utrustas med en ampèremätare. Detta ger en möjlighet till bra driftövervakning och till uppskattning av den aktuella elförbrukningen.
- Större motordrifter med en elförbrukning större än 10 000 kWh/år (t ex med en effekt större än 10 kW och mer än 1000 drifttimmar per år) skall utrustas med energimätare. Därmed kan den verkliga elförbrukningen bestämmas även vid diskontinuerlig drift och vid variabel last.

Driftpersonalens betjäning av anläggning och system

Driftpersonalens engagemang och driftsättet är en avgörande faktor för att realisera tydliga elbesparingar:

- Åtgärder för automatiserad drift med styrtekniska åtgärder kan ge bra resultat om den driftansvarige kan ställa in styrparametrar. Den mest förfinade beräkning av mängden återfört slam med den dyraste mätutrustningen har ingen effekt på elanvändningen om inte mätutrustningen underhålls eller då anläggningen drivs manuellt (t ex på grund av bristande mätfunktion eller bristande instruktioner till personalen)
- Ofta blir börvärdet för syrehalten (O₂) inställda på ett onödigt högt värde med överdrivet säkerhetstänkande. Den därigenom orsakade merförbrukningen av el kan snabbt orsaka stora extra kostnader för reningsverket. En möjlig hjälp är att begränsa börvärdet till exempelvis **max** 2.0 mg/l.
- I många nybyggda anläggningar finns förutsättningar till optimering av elanvändningen genom styrning av drifter via reglersystem etc. Dock kan ofta reglersystemet ha en så dålig noggrannhet att det blir verkningslöst eller t o m kan vara kontraproduktivt. I stället för ett system med mycket avancerade reglerkretsar kan det vara en värdefull hjälp att använda ett adaptivt och självoptimerande reglersystem.

Driftpersonalen har en avgörande inverkan för att skapa konkreta besparingsresultat och för att uppnå effektiv elanvändning genom att rätt utnyttja regler- och styrsystem.

4. ENERGISPARANDE ÅTGÄRDER PÅ VÄRMESIDAN

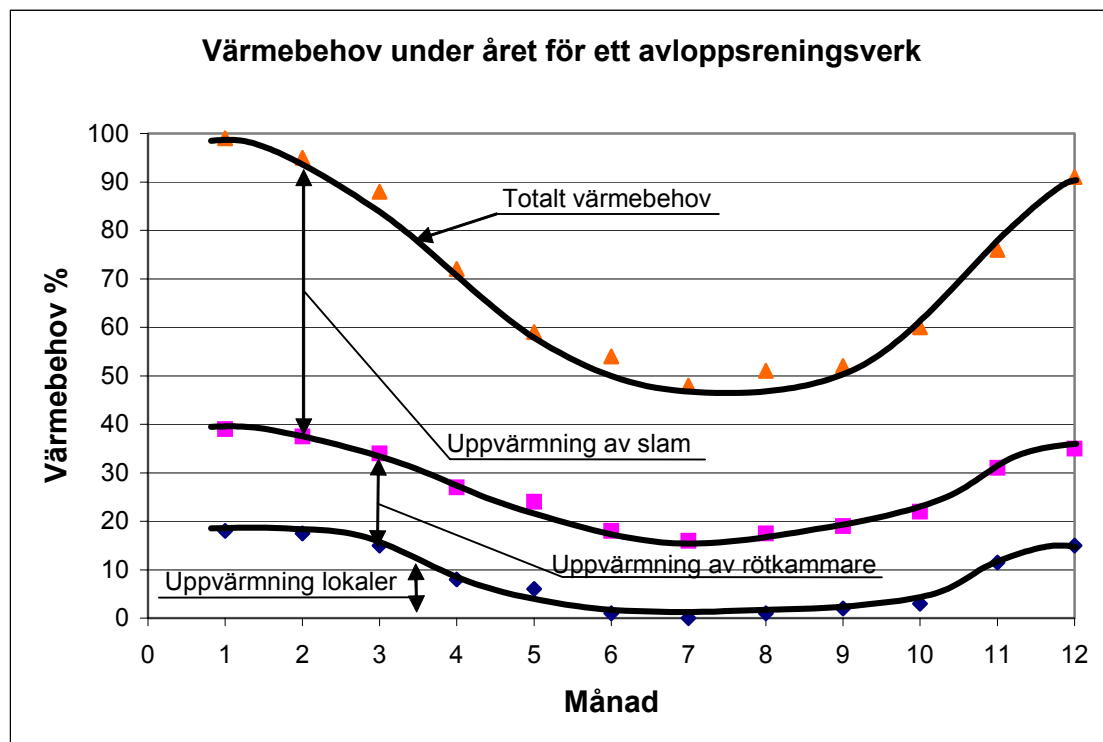
4.1 Allmänna råd

Uppvärmningsbehoven för reningsverk är ofta mindre än elanvändningen. Den största insatsen skall därför som regel ägnas åt att analysera elanvändningen. Var dock uppmärksam på värmeförbrukare, som använder el, t ex luftvärmare (elaerotemprar) och elektrisk uppvärmning av lokaler.

Vid de flesta medelstora reningsverk används den anaeroba mesofila metoden för slamstabilisering. Denna har ett stort värmebehov, som emellertid i normalfall kan täckas fullständigt med värme från förbränning av den producerade rötgasen och ev kompletterat med värmeväxling av råslam/rötat slam. Energibesparande åtgärder ger i dessa fall inte någon reduktion av energikostnaderna eller någon minskad belastning på miljön. Vid alternativ användning av rötgasen, t ex för motordrift (bilar och bussar), kan det löna sig med effektiviserande åtgärder.

Vid reningsverk utan rötning är det totala värmebehovet väsentligt mindre. Värme behövs då endast för uppvärmning av lokaler. Då måste också energin köpas utifrån och då är det meningsfullt med effektiviserande åtgärder.

Behovet av energi utifrån för reningsverk är som regel endast ca 10 % inom värmeområdet men ca 90 % av energibehovet utifrån utgörs av el främst för motordrifter.



Figur 4-1 Värmebehov under året för uppvärmning av slam, rötchammare och lokaler, som gäller för reningsverk med anaerob mesofil slamrötning

4.2 Processvärme

4.2.1 Uppvärmning av slam och av rötkammare

Värmetekniska aspekter på slambehandling

För anaerob mesofil slambehandling måste slammet hela tiden värmas för att hålla en temperatur av 35 - 37 °C. Om slammet i undantagsfall skall hygieniseras, så krävs en temperatur av 60 °C till 70 °C. Minskat behov av processvärme är möjligt inom fyra delområden:

<u>Besparing</u>	<u>Åtgärd</u>
• Reduktion av energibehov för slam	Reducera mängden slam och använd värmeväxling av slam
• Reduktion av transmissionsförluster	Förbättra värmeisolering av rötkammare
• Användning av värmeförluster	Utnyttja värmeförluster från luft-kompressorer, etc.
• Optimering av värmeförsörjning	Användning av rötgas fullständigt, optimera verkningsgrader och täckning av topplastbehov

Energibehov för uppvärmning av slam

Av de olika värmebehoven för ett reningsverk svarar uppvärmning av slam för den största delen (ca 70%), uppvärmning av rötkammare ca 20 % och lokalvärme för ca 10 %.

Vid uppvärmning av slam, den största värmeförbrukaren på ett reningsverk, kan energianvändningen påverkas endast i liten utsträckning. Energibehovet bestäms av mängden slam. Energibesparingar kan erhållas genom att reducera mängden slam och genom att optimera utrustningen för energiomvandling, förbättrad verkningsgrad vid användning av värmevärdet i rötgasen. Vid värmeväxling av inkommande råslam mot utgående rötat slam, kan värmebehovet reduceras kraftigt, ofta med ca 30-40%.

Värmebehovet Q_s för uppvärmning av slam kan beräknas på följande sätt:

$$Q_s = m \cdot \Delta t \cdot C_p = m \cdot (t_{RK} - t_{RS}) \cdot C_p$$

Q_s Värmebehov för uppvärmning av slam, kWh/år

m Slammassa, kg/år

t_{RK} temperatur i rötkammare °C

C_p Entalpitet (Specifika värmekapacitet), kJ/kg,K

t_{RS} temperatur för råslam °C

Råslam består till över 95 % av vatten. Då kan man som ett närmevärde för entalpiteten använda $C_p = 0.00116$ kWh/kg,K och för densiteten $\rho = 998$ kg/m³.

Exempel: Vid en anläggning tillförs rötkammaren dagligen med i genomsnitt 155 m³ förtjockat slam. Rötkammartemperaturen är i medeltal 36 °C. Den viktade årsmedeltemperaturen för råslam är ca 12 °C.

Den årliga mängden slam: $m = 365 \cdot 155 \cdot 998 = 56.5 \cdot 10^6$ kg/år

Det årliga värmebehovet: $Q_s = 56.5 \cdot 10^6 \cdot (36 - 12) \cdot 1.16 \cdot 10^{-3} = 1.57 \cdot 10^6$ kWh/år

För en anläggning med 100 000 pe blir det specifika värmebehovet 15.7 kWh/pe,år.

Anm. Om denna värmemängd skall försörjas från en konventionell värmeanläggning med en verkningsgrad av 0.80, måste tillföras 2.0 millioner kWh /år bränsleenergi, t ex genom förbränning av ca 200 m³ eldningsolja per år.

Energibehov för uppvärmning av rötkammare

Rötkammaren måste värmas upp under hela året, då temperaturen i rötkammaren hela tiden ligger över utomhustemperaturen. Värmeförlusten genom sk transmissionsförluster, bestäms av arean för begränsningsytan till rötkammaren och av temperaturdifferensen mellan rötkammaren och omgivning (utomhustemperatur) samt värmegenomgångstalet (k-värdet) för väggen till rötkammaren. K-värdet är det specifika värmeflödet genom väggen och är olika för olika byggnadsmaterial.

Då värmebehov måste täckas med el eller med eldningsolja / gas eller med fjärrvärme, blir det lönsamt med energisparande åtgärder på värmesidan.

Optimering av total värmeförbrukning

För optimering av k-värden för rötkammare och för optimering av verkningsgrader för värmeproduktion, bestäms av den totala förbrukningen av slutenergi (el, olja/gas, fjärrvärme etc.).

Värmeisolering av rötkammare måste förbättras så långt att årskostnaderna för tillsatsinvesteringar (grundlagen för lönsamhetsberäkning) inte väsentligt överskrider de årliga besparingarna i energikostnader. Den årliga energianvändningen erhålls som en summa av:

- Värmebehovet för uppvärmning av slam
- Transmissionsförluster för rötkammare
- Förluster i värmeproduktionsanläggningen
- Distributionsförluster och lagringsförluster.

4.2.2 Effektiviserande åtgärder

Uppvärmning av slam

Energibehovet för uppvärmning av slam bestäms av fysikaliska storheter. Nettobehovet kan väsentligt reduceras genom att använda värmeväxlare mellan utgående och ingående slam,. Det kan också reduceras genom ökad TS-halt genom en bättre förtjockning.

Minska transmissionsförluster

Transmissionsförluster reduceras genom förbättrad värmeisolering av rötkammare. Vid isolering av processtekniska anläggningar skall följande beaktas:

1. Isoleringstjocklek dimensioneras på basis av totala energiförbrukningen.
2. Alla delar inklusive behållare, rörledningar, armaturer och anslutningar isoleras.
3. Undvik köldbryggor t ex genom lämpliga fastsättningsanordningar för isolering.

Utnyttja värmeförluster

Värmeförluster kan återvinnas med olika metoder. Värme från t ex luftkompressorerna kan utnyttjas i ordning:

- Värmeväxlare (värme ur olja)
- Ledningar leds genom uppvärmda utrymmen
- Byggnader för slambehandling kompletteras med lågvärdig tillskottsvärme för att reducera nettoenergibehovet till rötkammare.
- Varm frånluft från motorrum(drift av pumpar, kompressorum, etc) kan ledas till tempererade utrymmen.

4.2.3 Elektrisk uppvärmning

Elektrisk luftvärmare

För att undvika kondensation och fukt i elskåp och för uppvärmning av enstaka driftplatser som pumpstation, blåsmaskinutrymme, etc har ofta installerats elektriska luftvärmare. Installationen av dessa värmare var ursprungligen ofta utförd för att skydda mot kondens alternativt mot frost eller för att undvika frysrisk. Praktiskt är dock dessa luftvärmare i drift mycket längre tider än planerat, så att de, trots den låga investeringskostnaden, blivit en relativt dyrbar installation.

Ofta är det lämpligt att byta dessa elektriska luftvärmare till avfuktare. Dessa fyller samma funktion vad gäller eliminering av risk för kondens men med en väsentligt lägre elanvändning.

Uppvärmning av rörledning

Uppvärmning med elkabel görs ibland för att frysskydda vissa rörledningar. Sådan uppvärmning kan dock ofta undvikas genom att disponera anläggningsdelar på ett bra sätt. I förekommande fall skall den uppvärmda rörlängden minimeras.

Frostskyddsuppvärmning skall endast tillämpas när det finns en verklig fara för isbildning.

4.3 Värmeproduktion

4.3.1 Teknik med rökgaskondensering

En panna med rökgaskondensering ger mindre skadliga emissioner vid drift och en tydligt högre verkningsgrad (verkningsgrader upp till 110 %) än för traditionella värmepannor. En sådan panna kan - i motsats till traditionell panna- kyla rökgaserna under en temperatur av 100 °C och kan därmed ta ut värme ur vattenånga som annars förloras. Därvid kommer också vattenången i rökgaser kylas så långt att den kondenserar och frisläpper förångningsvärme. En panna med rökgaskondensering ställer därvid speciella krav på planering och på bortförande av rökgaser. Som regel måste speciella avgasledningar av syrafast stål användas, som också kan monteras in i befintliga skorstenar. Fördelarna med rökgaskondensering kan lättare utnyttjas med lägre temperaturer på tillopp och retur på värmepannans vattensida. Men detta förutsätter då större värmeöverförande areor i värmeväxlare och i radiatorer i befintliga byggnader. Vid t ex en tillopp-/returtemperatur av 40/30 °C krävs en värmeyta som är ca 5 ggr större än värmeytan för motsvarande system med 70/60 °C vid uppvärmning av lokaler.

Värmepanna med rökgaskondensering (och med lågtemperatursystem) ger en högre verkningsgrad, från 96 % upp till 110 % än vad som gäller för traditionella värmepannor (ca 85 %).

5. ANVÄNDNING AV FÖRNYBAR ENERGI

5.1 Energibärare till förfogande

Reningsverk använder stora mängder energi, men genom produktion av rötgas förfogar man också över en egen värdefull förnybar energikälla. Vid sidan av rötgasen så finns också värme ur avloppsvatten, vattenkraft och solenergi som förnybara energikällor med en energipotential som kan utnyttjas.

Rötgas är ett värdefullt bränsle för reningsverk och som kan ge ett väsentligt bidrag för att täcka det egna behovet av el och värme. De tillsatsinvesteringar som erfordras är ofta lönsamma. Utnyttjandet av rötgas har därför ett högt ekonomiskt värde för reningsverk.

Bland förnybara energibärare utgör värme ur avloppsvatten en utomordentligt stor värmekälla. Värmemängder från renat avloppsvatten är flerfaldigt större än det sammanlagda värmebehovet för reningsverken själva. Denna tillgång på värmeenergi kan användas för att värma bebyggelse i närheten av reningsverket eller på distans via t ex fjärrvärme.

För reningsverk med tydliga höjdskillnader kan utnyttjande av vattenkraft ge ett visst bidrag för elförsörjning.

	Användbar potential		Lönsamhet
	Motordrift/El	Värme	
Rötgas	++	+++	+++/-
Värme i avloppsvatten		+++++	+/-
Vattenkraft	+		+/-
Vindenergi	+		+/-
Solenergi	+	+	--

Figur 5-1 Förnybara energibärare vid ett reningsverk

Vid reningsverk finns det gynnsamma förutsättningar för att utnyttja solenergi med hänsyn till de stora areor som står till förfogande. Att producera el via solceller är önskvärt, men är ännu inte lönsamt, även om stora framsteg har uppnåtts under senare år för att höja verkningsgraden. Solenergi för uppvärmning med hjälp av solfångare har fått en liten betydelse. För reningsverk med rötning, kan värmebehovet täckas genom att förbränna den producerade rötgasen. För reningsverk utan rötning är värmebehovet relativt litet, speciellt under sommaren med värmebehov endast för produktion av varmvatten.

Med rötgas förfogar reningsverk över ett eget högvärdigt bränsle och med värme ur avloppsvatten över en mycket stor energikälla, som via värmepumpar kan användas för uppvärmning av bebyggelse.

5.2 Rötgas

5.2.1 Produktion av rötgas

Vid den anaeroba mesofila slambehandlingen produceras rötgas, som är ett högvärdigt bränsle. Detta kan användas för produktion av värme och för motordrift/elproduktion. Rötgasens sammansättning och energivärde är inte lika för alla anläggningar. Vid driftstörningar och vid överbelastningar, kan den specifika gasproduktionen minska.

Rötgas från den anaeroba stabiliseringen av avloppsslam består till 60-70 % av metan och 30-40% av koldioxid. Dessutom finns små mängder kvävgas (4%) och en mindre mängd syrgas (<1%). Det finns också spår av svavelväte (H_2S). För drift av gasmotor med rötgas, får halten svavelväte inte överskrida vissa gränser. Rötgasen bör därför analyseras med gasprover, t ex med fem gasprover under ett års tid.

Som ett representativt undre värmevärde per normalkubikmeter rötgas kan följande värde användas: $H_u = 6.4 \text{ kWh/Nm}^3$ (23 MJ/Nm^3).

Uppgifter för mängden rötgas i vetenskaplig litteratur hänför sig definitionsmässigt till normaltillstånd, dvs 0°C och till trycket 1.013 bar. Ofta gäller att mätningar av gasflöde inte har blivit omräknade från drifttillstånd till normaltillstånd.

Omräkningsformeln för beräkning av volymen vid normaltillstånd från volymen vid drifttillstånd lyder: $V_N/V = 273 \text{ [K]} / (T [^\circ\text{C}] + 273 \text{ [K]}) \times 1.01325 / P [\text{bar}]$

Exempel: Gasmängder som mäts vid temperaturen för rötkammaren, t ex 35°C , gäller således att de då kommer att vara ca 11% för höga.

Avgörande faktorer för produktion av rötgas är:

- Mängden organisk torrs substans som tillförs rötkammaren via råslam.
- Eventuell samrötning med främmande material t ex fettrester eller latrin.
- Den procentuella andelen av organisk torrs substans, som bryts ner till rötgas (rötningsgrad).
- Rötgasutbytet per kg nedbrutet organisk torrs substans.

Rötningsgrad och rötgasutbytet är förutom utgångsmaterial framför allt beroende av:

- Uppehållstiden i rötkammaren
- Temperaturen i rötkammare.

Uppehållstiden i försedimentering har ett avgörande inflytande på produktionen av primärslam och därmed på tillförseln av organisk torrs substans via primärslam. Vid dimensionering av avloppsvattenreningen blir försedimenteringen som regel utlagd efter uppehållstiden vid den högsta tillförseln av avloppsvatten Q_t under torrvädersförhållanden. Uppgifter i aktuell litteratur visar på förväntade mängder av torrs substans och primärslam per personekvivalent. Dessa redovisas i tabell 5-2.

Uppehållstid försedimentering vid max Q_t	ca 0.5 h	ca 1.0 h	ca 2.0 h
Nedbrytningsandel COD och BOD ₇ [%]	17-20 %	25 %	30-33%
Produktion av primärslam [g/pe,d]	30-38	38-42	45-50
Organisk mängd torrs substans i fällning av primärslam [g/pe,d]	19-21	25-28	31-35

Tabell 5-2 Organisk torrs substans i primärslam vid max belastning Q_t vid torrt väder.

En hög produktion av rötgas är en avgörande faktor för en optimal energibalans för ett avloppsreningsverk.

I förhållande till den tillförda mängden organisk torrs substans och angivna driftförhållanden kan man räkna med det specifika utbyte av rötgas som visas i tabell 5-3. Vid storskalig drift eller vid mindre tekniska försök kan man få ett både lägre och högre utbyte av rötgas. För anläggningar utan kväverening med stor försedimentering har i enstaka fall redovisats ett rötgasutbyte av 600 l/kg oTS_{tillförd}.

Utbyte av rötgas i förhållande till tillförd mängd oTS (l/kg)				
Uppehållstid försedimentering vid max Q_t	utan FS	ca 0.5 h	ca 1.0 h	ca 2.0 h
Enbart biologisk rening		400-460	415-480	435-500
N+DN; t_{RS} .ca 13 d	295-340	380-440	400-465	425-470
N+DN; t_{RS} .ca 25 d	275-320	370-425	395-455	420-460

Tabell 5-3 Utbyte av rötgas vid 35 °C och ca 30 dygns rötningstid i förhållande till tillförd mängd torrs substans.

Anm. N+DN är reningsverk med nitrifikation och denitrifikation

Vid en halvering av rötningstiden från 30 till 15 dygn får man räkna med att producerad mängd rötgas minskar med ca 10 %.

Den beräknade produktionen av rötgas per personekvivalent och dygn vid 35 °C och 30 dygns rötningstid visas i tabell 5-4 med hänsyn till den invånarspecifika tillförseln av oTS (organisk torrs substans). Definitionen av invånarvärdet i denna handbok är baserad på 70 g BOD₇/pe,d (omräknat från 60 g BOD₅/pe,d) som ett årsmedelvärde.

Invånarspecifik produktion av rötgas (l/pe,d)				
Uppehållstid för försedimentering vid max Q_t	utan FS	ca 0.5 h	ca 1.0 h	ca 2.0 h
Enbart biologisk rening		23-26	25-29	27-31
N+DN; t_{TS} .ca 13 d	13-15	19-22	22-25	25-29
N+DN; t_{TS} .ca 25 d	10-13	18-21	20-23	23-26

Tabell 5-4 Produktion av rötgas vid 30 dygns rötningstid. En rötningstid av 15 dygn ger ca 10 % lägre värden.

Produktionen av rötgas ökar med uppehållstiden.

Optimal drift av rötgasanläggning

Den ovan angivna specifika produktionen av rötgas kan endast uppnås i en optimalt fungerande rötgasanläggning. Av avgörande betydelse är därvid följande faktorer:

- *Rötningstid och rötningstemperatur*
- *Jämn tillförsel av slam till rötammare* (för undvikande av temperaturändringar)
- *God omrörning i rötammare*. Omrörning i rötammaren skall vara fullständig och vara i permanent drift och ger då:
 - Jämna temperaturförhållanden
 - God genomblandning och borttransport av material och produkter
 - Förhindrande av vätskebeläggning
 - Likvärdig och snabb nedbrytning av organiskt material i slammet
 - En hög effektivitet

Anm. Erfarenheter har visat att vid användning av cirkulationspumpare för omrörning är en (1) omsättning av rötammarernas volym tillräckligt. Vanligtvis är omsättningen flera gånger större. (tillägg av redigerare)

- *Hög andel primärslam:*
- *Undvikande av temperaturfall:*
Ett temperaturfall av bara 1 till 2 °C eller K (Kelvin) kan hämma rötprocessen. En snabb temperaturhöjning på 1 till 2 K har dock inte någon negativ verkan.
- *Driftstörningar genom överbelastning eller tillförsel av "gift":*
För att undvika driftstörning, kan följande analysvärden tillämpas:

pH-värde i rötslam	skall vara >7
Innehåll av ättiksyra i rötslam	skall vara < 500 mg/l
Innehåll av CO ₂ i rötgasen	skall vara < 45%

För lagring av rötgas vid reningsverk utan kraftvärmeanläggning är det tillräckligt med en gasvolym motsvarande 15-25% av dygnsproduktionen. Med en kraftvärmeanläggning krävs en väsentligt större lagringskapacitet, motsvarande den dubbla dygnsproduktionen.

Samrötning

Med "samrötning" menas samtidig behandling av organiskt avfall i rötkammare. Begränsande vid kommunala reningsverk är i allmänhet inte den organiska belastningen, utan den erforderliga uppehållstiden i rötkammaren. På grund av drifttekniska ändringar i samband med kväverening gäller ofta att den praktiska rötningstiden är betydligt längre än den beräknade erforderliga rötningstiden.

Följande gäller för samrötning av externa organiskt avfall:

- Genom samrötning av externt avfall kan fri rötkammarkapacitet utnyttjas på ett lönsamt sätt. Speciellt fördelaktigt är det att samtidigt behandla avfall med en hög halt fast organsikt material.
- Produktionen av rötgas kan ökas på ett tydligt sätt.

Några punkter bör kritiskt granskas då det gäller samrötning av avfall i rötkammare:

- Samrötning får inte vara en sämre ekologisk metod i jämförelse med andra sätt.
- Rening av avloppsvatten efter gällande riktlinjer och krav, får inte begränsas genom samrötning.

Med samrötning av externt organiskt avfall kan produktionen av rötgas och därmed den egna energiproduktionen ökas väsentligt.

5.3 Värme ur renat avloppsvatten

5.3.1 Potential

Renat avloppsvatten innehåller stora mängder värme, som kan utnyttjas med hjälp av värmepump teknik. Tillgången på värme i renat avloppsvatten är flerfaldigt mycket större än det totala värmebehovet för reningsverket. Avgörande för en användning är frågan om det går att finna passande mottagare för den producerade värmen. Lämpligt är bebyggelse i närheten av reningsverket eller leverans till fjärrvärmenät med tillräckligt låg returtemperatur.

Avloppsvatten är en utmärkt värmekälla för värmepumpar, därför att:

- Värmetillgången ständigt står till förfogande och i stora mängder
- Reningsverkets placering är som regel säker på lång sikt
- Den höga temperaturen (10-14 °C under vintern) erbjuder höga värmefaktorer (förhållandet mellan levererad värmeenergi och insatt energi)

En återvinning av värme ur avloppsvatten är önskvärt, då vattendraget därigenom blir termiskt avlastat och att vattenkvaliteten förbättras.

Beräkning av värmepotential

Tillgången på värme i avloppsvatten bestäms av mängden avloppsvatten och temperaturen hos avloppsvatten. Därvid är lämpligt att använda månadsvärden för januari och februari (dvs förhållanden under uppvärmningsperioden) som underlag. Vid ett flöde av 1 m³/h avloppsvatten erhålles vid avkylning med 1 Kelvin en borttagen värmeeffekt av 1.16 kW (4.2*1*998/3600). En värmepump kan därmed skapa en värmeeffekt av 1.55 kW med en värmefaktor av 4, dvs en insats av 0.4 kW

el. Den totala värmeeffekten från värmecentralen inklusive täckning av topplaster kan, beroende på dimensionering, då vara 2-4 kW.

Flöde av avloppsvatten (medelvärde)	1 m ³ /h
Medeltemperatur under uppvärmningssäsong	+ 12 °C
Avkylning av avloppsvatten t ex från 12 till 11 °C	1 K
Tillgång på värme från värmepump (värmefaktor 4)	1.55 kW
Total värmetillgång från värmecentral med värmepump och värme-panna för topplast (med hänsyn till dimensionering av värmepump)	2-4 kW*

Tabell 5-5 Beräkning av värmetillgång från avloppsvatten (per m³/h avloppsvatten och per grad Kelvin avkylning)

5.4 Vattenkraft

Om det finns naturliga höjdskillnader i tillflöde eller utflöde av avloppsvatten eller om vattnet lyfts mellan olika behandlingssteg (t ex av utrymmesskäl), kan utnyttjande av vattenkraft vara intressant.

En kompakt driftenhet med ett ensidigt vattenhjul och generator ger möjlighet till en förenklad och kostnadseffektiv installation. För flöden runt 4 m³/s och med en fallhöjd av ca 7 m, finns det tekniska lösningar med lämpliga vattenhjul. Den elektriska uteffekten är ca 2 kW vid ett vattenflöde av ca 1000 m³/h och per meter fallhöjd.

Den goda verkningsgraden på över 70% för området mellan 30 och 100 % av märkvattenflödet, är en fördel vid installationer på reningsverk.

5.5 Vindenergi

Lämpliga vindförhållanden finns endast vid några få reningsverk. Det beror på att reningsverk som regel har förlagts till lågt belägna platser och därmed ofta befinner sig i vindskugga.

Den specifika investeringskostnaden i det undre effektregistret (100-200 kW) är mellan ca 14000 och 9000 kr/kW. Märkeffekten för ett vindkraftverk beror starkt av vindhastigheten.

Exempel:

Vindhastighet m/s	Effekt
3	0 (startvind)
5	6 %
10	45 %
15	100 %

5.6 Solenergi för reningsverk

Solen strålar i Sverige på en horisontell yta med en energimängd av ca 1000 kWh/m²,år. Från denna instrålade energimängd kan idag för platser, som inte är skuggade, utnyttjas följande energimängder:

El: ca 50-120 kWh/år per m² solceller (photovolt)

Värme: ca 300-450 kWh/år per m² kollektorarea.

Vid reningsverk finns relativt stora horisontella areor till förfogande och som lämpar sig för installation av anläggningar för solenergi. Några estetiska problem, som kan gälla för bebyggelse i allmänhet, finns inte för reningsverk.

Solceller omvandlar solstrålning till el. De kan medverka till att täcka en del av elbehovet med förnybar energi. Med en area av ca 1000 m², kan en anläggning med solceller producera el motsvarande ca 50 000 till 120 000 kWh/år. Det motsvarar 2-4 % av den totala elanvändningen för t ex ett reningsverk för 100 000 pe.

För produktion av el genom användning av solenergi finns ofta lämpliga ytor på reningsverk. Från en rent driftekonomisk synpunkt är dock solcellsanläggningar ännu inte lönsamma.

6 ARBETSMODELL FÖR ENERGIANALYS

6.1 Allmänna råd

6.1.1 Målet för en optimering av energianvändningen

Fördelar med helhetssyn

Flera tydliga fördelar kan erhållas genom att använda en helhetssyn jämfört med ett mera fragmenterat arbetssätt vid genomförande av energieffektiviserande åtgärder:

- Hela energisparpotentialen kan utnyttjas mera fullständigt.
- Kostnaderna för energi kan reduceras med hänsyn till vad som är driftekoniskt optimalt.
- Investeringskostnaderna blir totalt mindre för ett helt åtgärds paket än summan av kostnader för enskilda åtgärder.
- Den totala kostnaden blir mycket mindre med hänsyn till projektering, installation och för drifttagning.
- Driften av reningsanläggningen kommer att behöva avbrytas under kortare tid än då enskilda åtgärder genomförs vid flera tillfällen.

Prioritering av åtgärder

Vid planering och optimering av energiinsatser, tillämpas följande prioriteringar:

Prioritet	Åtgärd
1	Reducera energianvändning genom besparingsåtgärder
2	Utnyttja biogas fullständigt för produktion av värme och ev för motordrift/el-produktion
3	Utnyttja avgiven värme/ värmeförluster från kompressorer, blåsmaskiner
4	Använda all bränsle/energi som köps utifrån på ett effektivt sätt

Målet för en ”systematisk optimering” är att med paket av energisparåtgärder inom givna ramar, åstadkomma så stora reduktioner av energikostnaderna som möjligt.

6.1.2 VA-ansvarig tar beslut

Personalen vid reningsverket spelar en avgörande roll för den totala utgången av ett program för energieffektiviserande åtgärder. De känner anläggningen bäst med både dess starka sidor och dess svagheter. Personalen kan också rätt värdera angelägenhetsgraden och fördelar med olika åtgärder på energiområdet. De som sköter driften utgör fackfolket, som måste kunna göra ledningen uppmärksam på nödvändiga steg.

När rekommenderas grovanalys eller en finanalys av energianvändningen

Vid varje ombyggnad, förnyelse eller utvidgning av viktiga delar av en reningsanläggning, är det alltid lämpligt att göra en fin- eller detaljanalys av energianvändningen. Det gäller också då konkreta energisparåtgärder är kända eller då energikriterier samt ev. nyckeltal för energianvändningen visar på en stor besparingspotential. Erfarenhetsmässigt gäller i alla andra fall att det lönar sig att åtminstone låta göra en grovanalys av energianvändningen.

VA-ansvarig har en nyckelroll. Denne måste ta beslut om en systematisk optimering av energianvändningen med hänsyn till alla driftmässiga aspekter.

Då resultaten av en fin- eller detaljanalys direkt kan påverka planeringen av ett helt projekt, bör en detaljanalys genomföras i ett relativt tidigt skede.

En detaljanalys tillhör idag varje god planering och skall göras vid rätt tidpunkt, dvs i samband med förplanering av ett nytt projekt.

En detaljanalys är att rekommendera vid varje ombyggnad, förnyelse av utrustning eller vid en utbyggnad av ett reningsverk. Men det gäller också när energikriterier inte är tillgodosedda, då energisparmöjligheter är kända eller då biogas skall användas t ex för gasmotordrift.

6.2 Grovanalys

6.2.1 Mål

Med en grovanalys blir energisparpotentialen bedömd i grova drag med rekommendationer till lämpliga åtgärder. Dessa rekommendationer stöder sig på bedömning av möjliga åtgärder och en första uppskattning av de besparingar som kan göras för att minska verkets energikostnader. Grovanalysen skall visa på de åtgärder som omgående kan genomföras med hänsyn till driftegenskaper och med relativt små investeringskostnader.

6.2.2 Genomförande

VA-ansvarig tar det första steget till en energioptimering, dvs ger i uppdrag att göra en grovanalys. Grovanalysen av energianvändningen består av tre faser (tabell 6-1). I bilaga 2 finns också en kravlista som definierar vad en grovanalys resp en fin- (detalj-) analys skall innehålla.

Fas	Arbetssteg
Bestämning av nuläget	• Underlag och insamlande av data <u>tillsammans med driftpersonalen</u> • Genomgång av anläggningen <u>tillsammans med driftpersonal</u> • Dokumentation och beskrivning av NU-läget med ÄR-värden
Utvärdering	• Granskning av NU-läget och gällande ÄR-värden • Sammanställning av åtgärder som omgående kan genomföras • Sammanställning av möjliga energisparande åtgärder • Uppskattning och värdering av besparingspotentialen för hela reningsverkets energianvändning och energikostnader.
Rapportering	• Sammanställning av rapport med rekommendationer • Presentation av erhållna resultat vid ett möte tillsammans med uppdragsgivaren.

Tabell 6-1 Tre faser för genomförande av en grov analys av energianvändningen

Utan medverkan av en ingenjör/driftekniker som behärskar de aktuella reningsprocesserna kan en energispecialist inte göra en riktig energianalys av ett reningsverk.

NU-läge med tillhörande ÄR-värden

Ett första steg är att hämta in nödvändiga underlag och uppgifter för reningsverket (jämför också checklisten i bilaga 2). Det handlar om data, som i regel finns tillgängliga eller som borde finnas till hands vid reningsverket:

- Driftdata
- Uppgifter om energianvändning och effektbehov
- Specifika uppgifter för det aktuella reningsverket.
- Schema för hantering av avloppsvatten i reningsverket och anläggningens ålder.

Om de viktigaste uppgifterna för energiförbrukningen inte finns tillgängliga, måste driftpersonalen installera erforderlig mätutrustning och börja göra avläsningar.

En beprövad metod är att vid genomgången följa avloppsvattnet och koncentrera sig på de stora energianvändarna. Med hänsyn till kostnader, har som regel elanvändning en högre prioritering jämfört med förbrukning av värme. Resultat och slutsatser från den gjorda genomgången och utförda analyser diskuteras med driftpersonalen.

Kostnader och arbetsplanering

Kostnaden för arbetet att utföra en grovanalys varierar med hänsyn till storleken på reningsverket, kvaliteten på det underlag och mätdata som är tillgängliga samt på hur komplex anläggningen är. För ett genomsnittligt reningsverk under 100 000 anslutna innevånare, utan speciella krav för uppdraget, rör sig kostnaderna inom en ram av 4-6 arbetsdagar för ingenjörer med de nödvändiga erfarenheterna och kvalifikationerna. Kostnaderna stiger för större och mera komplexa anläggningar.

• Datasamling:	1 arbetsdag
• Genomgång av anläggningen	1 arbetsdag
• Utvärdering/rapportering	1-3 arbetsdagar
• Presentation, redovisning vid möte	1 arbetsdag
Summa:	4-6 arbetsdagar

Tidsåtgång för ingenjörer (två personer) för att göra en grovanalys på ett typiskt reningsverk för färre än 100 000 anslutna innevånare.

6.3 Detalj - finanalys

6.3.1 Mål - Finanalysen som beslutsunderlag

Målet för en finanalys är visa VA-ansvarig på paket av åtgärder, så att denne kan ta beslut om genomförande och finansiering av omedelbara åtgärder samt planera för genomförande av kortfristiga åtgärder.

Krav på en finanalys

För att VA-ansvarig skall kunna ta beslut, måste resultaten visas på ett tydligt sätt:

- Uppnåbara energibesparingar
- Nödvändiga investeringar
- Åtgärds paket på kort och lång sikt

I praktiken kommer inte alla åtgärder att kunna genomföras samtidigt. I finanalysen delas därför angivna åtgärder in i olika kategorier:

- Omedelbara åtgärder (O)
- Kortfristiga åtgärder (K)
- Villkorliga åtgärder (V)

Vid förmedling av uppdraget gäller att noga bestämma omfattningen. Det är speciellt viktigt att göra avgränsningar av ett uppdrag då det finns anläggning för slambehandling eller med flera pumpstationer i ledningsnätet.

6.3.2 Start – igångsättning

Finanalysen görs i fyra faser. En avslutande kontroll av resultaten med en driftoptimering kan också tillhöra en finanalys, men kostnaden för en sådan resultatkontroll måste då behandlas separat.

Steg	Arbeten
NU-läge (ÄR-värden)	• Underlag och insamling av data (<i>tillsammans med driftpersonal</i>) • Genomgång av anläggningen (<i>tillsammans med driftpersonal</i>) • Genomföra erforderliga mätningar, om det är möjligt • Ta upp relevanta energianvändare • Ta upp realiserade och planerade energibesparande åtgärder • Identifiera möjliga energibesparande åtgärder • Värdering av NU-läget (ÄR-värden); se energikriterier (bilaga 1) • Diskussion av sk mellanresultat (<i>tillsammans med driftpersonalen</i>)
Enstaka åtgärder	• Gör en lista på alla enstaka åtgärder • En kort beskrivning av varje enstaka åtgärd • Energibesparingar (el och värme för sig) • Investeringar (totala och energirelaterade investeringar) • Driftmässiga aspekter i relation till lönsamhet

-
- | | |
|--------------------------|--|
| Paket av åtgärder | <ul style="list-style-type: none">• Bildande av åtgärdspaket med hänsyn till genomförande• Besparingar, kostnader och driftmässiga aspekter för varje paket• Energibalans, bör-tillstånd med bör-värden• Värdering av bör-tillstånd med hänsyn till energikriterier |
|--------------------------|--|
-

- | | |
|---------------------|--|
| Rapportering | <ul style="list-style-type: none">• Framställning av rapport med rekommendationer• Presentation av erhållna resultat vid ett möte (<i>tillsammans med beslutsfattare</i>) |
|---------------------|--|
-

- | | |
|-------------------------|--|
| Resultatkontroll | <ul style="list-style-type: none">• Efter genomförda åtgärder (<i>med driftoptimering</i>) |
|-------------------------|--|
-

Fyra steg för en finanalys med avslutande kontroll av resultat

Fas nr 1 – NU-läget

I NU-läget gäller att energianvändningen för relevanta anläggningsdelar dokumenteras såväl som tillståndet för de olika anläggningsdelarna. Huvudinsatsen av analysarbetet måste dock reserveras till kvantifiering av enstaka åtgärder. Med hänsyn till effektivitetsaspekter studeras de större energianvändarna och framför allt alla med möjligheter till effektivare energianvändningen. Sammantaget skall så många enstaka energianvändare studeras, så att ca 95 % av den totala energianvändningen kan täckas in. Redan en tredjedel av de största motorerna (antalsmässigt) kan svara för ca 90 % av elanvändningen. För användare som utgör en stor del av den totala energianvändningen och den möjliga energibesparingen, är det önskvärt att uppgifterna stöds av mätningar. Antingen mäts då energianvändningen direkt eller så beräknas energianvändningen utifrån det uppmätta antalet drifttimmar.

Arbetsinsatsen för att bestämma NU-läget skall om möjligt hållas nere (max 20-25 % av totala omfattningen för att göra finanalysen) och insatsen skall i första hand koncentreras på väsentliga punkter

En energibalans för NU-läget skall sammanställas för hela reningsverket med en separat balans för el och för värme. Energibalansen skall då delas upp på de viktigaste anläggningsdelarna. Efter framställningen av NU-läget skall mellanresultat och en preliminär lista över möjliga åtgärder diskuteras igenom med VA-ansvarig.

De i finanalysen föreslagna enstaka åtgärder måste samtidigt kunna uppfylla de reningstekniska och drifttekniska ramar som gäller för reningsverket.

Fas nr 2 - Enstaka åtgärder

Reduktion av energianvändning beräknas, dels genom bestämning av reducerat effektbehov (årsmedelvärde), dels genom reduktion av antalet drifttimmar per år. Detta belyses i två enkla exempel.

Exempel 1 - Utbyte av motor

En gammal elmotor skall bytas ut mot en ny motor, som får samma belastning som den tidigare motorn. Den nya motorn har dock en bättre verkningsgrad. Den slutliga eleffekten blir därför mindre för den nya motorn. Då antalet drifttimmar kommer att förbli desamma, kommer energianvändningen över året att sjunka procentuellt med hänsyn till den förbättrade verkningsgraden.

Exempel 2 - Installation av en rörelsevakt för belysning

I en hall blir en rörelsevakt installerad, med uppgift att endast tända belysningen då personer vistas i lokalen. Antalet drifttimmar kommer då att reduceras och därmed - med samma effektbehov - kommer elanvändningen att minska.

För varje enstaka åtgärd måste investeringskostnaderna bestämmas. För större belopp måste inhämtas offerter baserade på riktpolis. För mindre belopp kan specialister tillfrågas och deras erfarenhetsvärden kan användas. Å ena sidan skall då redovisas totala investeringskostnaden och å andra sidan också den merkostnad som är kopplat till kravet på en effektivare energianvändning.

Investeringskostnader för energisparåtgärder skall också omfatta sidos- och följdskostnader samt även kostnader för planering och genomförande,

På grund av att det nästan är omöjligt att väga in utvecklingen av energipriset rekommenderas att utgå från dagens energipriser.

Fas nr 3 - Paket av åtgärder

De enstaka åtgärderna skall förpackas med hänsyn till de olika realiseringsfaserna:

- *Omedelbara åtgärder*
- *Kortfristiga åtgärder*
- *Villkorliga åtgärder:* Genomförs som regel inom ramen för en allmän ombyggnad/utbyggnad

Avslutande resultatkontroll

Efter genomförandet av energisparåtgärder är det värdefullt att göra en kontroll av uppnådda besparingar och en optimering av driften. Genom en optimering av driften kan i praktiken ofta erhållas ytterligare besparingar av energikostnaderna.

Målet för en finanalys är att visa på konkreta paket av effektiviserande åtgärder med vilka reningsverket kan uppfylla aktuella energikriterier.

6.3.3 Insatser och arbetsplanering

Om inte det nödvändiga dataunderlaget kan ställas till förfogande av VA-ansvarig, så ökar omfattningen av insatsen. För fackfolk som har erfarenheter av att göra finanalyser och har standardiserade formulär, gäller insatser av 17 - 40 arbetsdagar för att göra en finanalys av ett reningsverk med en storlek av 10 000 till 100 000 pe.

NU-läge	4 - 10 arbetsdagar
Enstaka åtgärder	10 - 24 arbetsdagar
Åtgärds paket	1 - 2 arbetsdagar
Rapportering	2 - 4 arbetsdagar

Total arbetsinsats	17 - 40 arbetsdagar

Insatser för en finanalys på ett typiskt reningsverk under 100 000 pe (I dessa tal har inte inkluderats tid för driftpersonalen på reningsverket för att ta fram driftdata och för att ev tillkommande mätningar)

En anläggning för rening av avloppsvatten är endast rätt anpassad för vår miljö, när också energianvändningen vid reningsverket är optimalt effektiv.

Det är endast årskostnaderna för en åtgärd, dvs kapitaltjänstkostnader och driftkostnader, som ger måttet på den totala finansiella belastningen - inte investeringskostnaderna.

6.3.4 Investeringar för energieffektivisering

Vid bedömning av energibesparande åtgärder får inte hela investeringskostnaden läggas till grund för en betraktelse av lönsamheten, utan endast den merkostnad som är betingad av energieffektiviseringen.

Investeringar för allmänt underhåll, för förbättring av arbetsmiljö, åtgärder för att förhindra skador på byggnader, tillgodoseende av krav från myndigheter etc, får inte belasta åtgärder för energibesparande åtgärder. Vid en åldersbetingat byte av en pump gäller t ex vid en jämförelse av lönsamheten att hänsyn då endast får tas till skillnaden i kostnad mellan t ex en variant med en dyrare sk. sparmotor och en variant med en idag vanlig motor.

Som regel blir delar av ett reningsverk utbytt inte med hänsyn till energimässiga aspekter, utan som en följd av en allmän upprustning av installationer. I dessa fall måste ersättningsinvesteringar finansieras över budgeten för underhåll och endast de merinvesteringar som är betingade av energieffektiviserande åtgärder beaktas. Om en anläggningsdel endast blir utbytt med hänsyn till energimässiga skäl och utnyttjningstiden ännu inte har uppnåtts, måste resterande bokfört värde för denna anläggningsdel beaktas i den energirelaterade beräkningen av kostnader.

Bilaga 1 Energikriterier - rikt- och idealvärden för energianvändningen vid avloppsreningsverk (NRW, Tyskland)

		Storlek på reningsverk (aktuell Pe_{BOD7})								
		2000-5000		5000-10000		10000-30000		30000-100000		
		Riktv. Idealv.		Riktv. Idealv.		Riktv. Idealv.		Riktv. Idealv. .		
e_{summa}	Total elanvändning per aktuell pe_{BOD7} */**									
C	(Slamålder mer än 5 dag) med rötning	kWh/pe, år			30	23	27	21	24	18
C + N	(Slamålder 13 dag) med rötning	kWh/pe, år			39	30	34	26	30	23
C + N	(Slamålder mer än 25 dag) med	kWh/pe, år	54	41	46	35	40	31		
	simultan aerob slamstabilisering									
e_{Blm}	Elanvändning för luftn.bassäng & omblandning per pe_{BOD7} ***									
C	(Slamålder mer än 5 dag) med rötning	kWh/pe, år			20	15	18	14	17	13
C + N	(Slamålder 13 dag) med rötning	kWh/pe, år			29	22	25	19	23	18
C + N	(Slamålder mer än 25 dag) med	kWh/pe, år	41	32	36	28	31	24		
	simultan aerob slamstabilisering									
N1	Använd andel av total mängd rötgas	%			95%	97%	97%	98%	98%	99%
N3	Specifik rötgasproduktion per oTS (glödförlust)									
C	(Biologisk rening)	l/kg org TS			500	525	500	525	500	525
C + N	(Biologisk + kväverening)	l/kg org TS			450	475	450	475	450	475
Ef-el	Egenförsörjningsgrad av el */**									
C		%			48%	65%	62%	84%	72%	95%
C + N		%			37%	50%	50%	67%	58%	78%
Ef-v	Egenförsörjningsgrad av värme	%			90%	95%	95%	97%	97%	98%
									98 %	99 %

* Pålägg för lyftpumpar per höjdmeter (m h t total vattenmängd) + 0.5 kWh/pe vid e_{summa} med motsvarande minskning för Ef-el.

** Pålägg för filtrering för e_{summa} (med motsvarande minskning för Ef-el); Riktvärde +3 kWh/pe,år, idealv. +2 kWh/pe,år (anl.< 30000 pe ger ytterligare +1 kWh/pe,år

*** Luftningsbassäng: blåmaskiner inkl omrörning och återföring av slam

Beteckningar (Energikriterier)

Riktvärde : Från utförda detaljanalyser av energianvändning och tillståndsuppgifter för reningsverk över 10000 pe i NRW, Tyskland.

Idealvärde: Grundad på teoretiska beräkningar för en modelanläggning , som gäller vid optimala driftförhållanden.

Pe: Aktuellt invånartal beräknat utifrån årsmedelvärdet BOD7 vid tillströmning till reningsverket av 70g/pe, dygn.

Elanvändning per aktuell pe _{BOD7}	Wermelskirchen 12700 pe kWh/pe,år	Modellanläggning 14000 pe kWh/pe,år	Plettenberg 31000 pe kWh/pe,år	Köln-Rodenkirchen 66000 pe kWh/pe,år	Modellanläggning 100 000 pe kWh/pe,år
1.1 Lyftpumpar	0.0	1.5	0.0	3.3	1.2
1.2 Galler/Kratta	0.4	0.1	0.4	0.7	0.1
1.3 Sandfång	2.0	0.7	0.0	1.7	0.5
1.4 Försediment.bassäng	0.0	0.2	0.3	0.5	0.1
1.5 Mellanlyftpump	0.0		2.9	0.0	
2.1 Luftning, omrörning	20.4	15.3	13.1	16.2	13.7
2.2 Omrörning, denitrif.	3.3	2.8	4.5	2.0	1.8
2.3 Interncirkulation	1.2	0.6	0.5	1.1	0.5
2.4 Återföring av slam	3.4	0.8	1.3	1.3	0.6
2.5 Eftersediment. bassäng	1.1	0.3			0.2
2.6 Fosfatfällning	0.1	0.1			0.0
2.7 Filtrering inkl lyftpump	3.6	2.8	0.0	2.8	2.0
3.1 Förtjockare	3.7	0.9			0.9
3.2 Slamstabilisering, rötgas	0.0	1.4	1.9	3.3	1.1
3.3 Avvattnings av slam	0.0	0.8	1.4	1.2	0.7
4.1 Driftbyggnad o verkstad	0.0	0.3	2.0	1.1	0.2
4.2 Bruksvattenförsörjning	0.4	0.3			0.3
4.3 Behandling av frånluft	0.0	0.7	0.0	0.7	0.6
5.1 Övr. användare/restpost	8.6	0.7	6.2	0.0	0.6
Summa för alla steg / objekt	48.1	30.2	34.5	35.7	25.0
- " - utan lyftpumpar och utan filtrering	44.5	25.9	31.7	29.6	21.7

Nyckeltal för typlanläggningar och dokumenterade uppgifter från finanalyser efter genomförande av åtgärds paket för effektivare energianvändning

Bilaga 2

Grov - och detaljerad energianalys

1. Målet för energioptimering

Syftet med energioptimering är, att spara så mycket energi som är ekonomiskt möjligt och att utnyttja den egna biogasen på ett effektivt sätt. Därvid måste samtidigt gälla:

- säkerställande av den erforderliga reningskapaciteten
- säkerhet och driften garanteras för reningsverket.

Målet för en grovanalys

Med hjälp av en grovanalys kan den energimässiga kvaliteten bedömas. Speciellt visar den om det är meningsfullt att genomföra en mer detaljerad energianalys och om det redan går att identifiera omedelbara energieffektiviserande åtgärder, som kan realiseras med relativt små insatser och med god lönsamhet.

Målet för en finanalys

Målet med en finanalys är att ge VA-ansvarige ett paket av verkningsfulla och konkreta energibesparande åtgärder med tydliga uppgifter på energibesparingar och dess lönsamhet. För att en finanalys skall kunna fylla sin uppgift, måste investeringskostnaderna för hela paketet av åtgärder kunna anges med en noggrannhet av $\pm 20 - 25 \%$.

Realiseringsplan för energisparande åtgärder

Ett snabbt genomförande av föreslagna omedelbara och kortfristiga åtgärder är intressant baserat på dess lönsamhet: de omedelbara åtgärderna skall presenteras utan dröjsmål, de kortfristiga åtgärderna skall anges med beaktande av ett normalt projekteringsförfarande inom en tidshorisont av 2-5 år. Slutligen de villkorade /beroende åtgärderna kan först senare realiseras inom ramen för en allmän förnyelse av den aktuella anläggningsdelen.

Målet för en resultatkontroll

Efter genomförandet av energiförbättrande åtgärder rekommenderas att man gör en kontroll av uppnådda resultat. Då skall resultaten (energibesparingseffekt och lönsamhet) jämföras med avseende på det förväntade värdet och med hänsyn till utgångsläget. Ev kan då upptäckas ytterligare möjligheter till förbättringar.

1. Grov energianalys

1.1 Driftdata som kan erhållas från den driftansvarige

Allmänna uppgifter

- Objektets beteckning och adress
- Ägare och VA-ansvarig
- Kontaktperson
- Energimässiga förberedande arbeten (studier, planering av enstaka åtgärder)
- Byggår för anläggningen'
- Storlek (antal pe)
- Antal anslutna invånare

Allmänna förändringar

- Allmänna och energimässiga avsikter till förenklingar/förbättringar
- Planerad utbyggnad, ombyggnad, nya behandlingssteg etc.
- Förändringar av mängden eller kvaliteten för avloppsvatten i framtiden

Uppgifter om driften

Årssummor för ett normalt driftår och ev även månatliga uppgifter för driften:

- Förbrukning och kostnader för el och bränslen
- Egen produktion av el och värme
- Leverans av biogas, el eller värme till nät eller till tredje part.
- Mängden avloppsvatten
- Produktion och användning av biogas
- Belastning (BOD₇)
- Mängd organisk torrs substans
- Ev höjdskillnad för avloppsvatten som lyfts upp till högre nivå

Beskrivning av metod för rening av avloppsvatten

- Översiktsschema med nuvarande och planerad teknik/hantering
- Dagsaktuella och framtida avsättning för rent slam

Tekniskt underlag för energianvändare och energileverantör

- Uppgifter på de viktigaste elanvändarna (effekt, utnyttjningstid, ålder etc)
- Uppgifter på de viktigaste energiförsörjningsanläggningarna som för förbränning, kraftvärmeanläggning, ackumuleringsmöjligheter etc (effekt, energi, ålder, saneringskrav etc)

Genomgång tillsammans med driftpersonal

- Genomgång av anläggningen tillsammans med driftpersonal.
- Tillstånd för de viktigaste energianvändarna och energiproduktionsenheterna.
- Information om energimässiga och allmänna brister
- Underlag för energianvändning och drifttider för enstaka anläggningsdelar.
- Genomgång av mätutrustning och avläsning med hjälp av driftpersonal för genomförande av mätprogram.

1.2 Resultat och data som skall levereras av uppdragstagare

Att ta upp vid en genomgång

- Ta upp brister enligt uppgifter från driftpersonal
- En lista på möjliga åtgärder till förbättringar för de största energianvändarna
- Undersökning av vilka omedelbara åtgärder som kan vidtas.

Rapport

- Total energianvändning och total kostnad för både el och värme
- Redovisning av energimässiga kriterier som använts vid gjorda bedömningar
- Uppskattning av kostnader för lönsamhet/vinst för rekommenderade omedelbara åtgärder.
- Uppskattning av energieffektiviseringspotentialen för ytterligare åtgärder

Rekommendation

- Vidare steg : en detaljerad finanalys: ja eller nej.
- Kostnader och tidpunkt för en finanalys.
- Vilka omedelbara åtgärder rekommenderas.

2. Detaljerad energianalys - finanalys

2.1 Driftdata som kan erhållas från VA-ansvarig

Allmänna uppgifter (förutom de som gäller för grovanalys)

- Allmänt utgångsläge med definition av ÄR- och BÖR - värden
- Säkerställande av nödvändiga mätningar (installation, avläsning)
- Placering av reningsverket (t ex på karta i skala 1:500)
- Planritningar för uppvärmda byggnader

Planerade förändringar

- Se "Allmänna förändringar" för grov analys

Uppgifter om driften

Driftdata för varje månad under ett normalt driftår med totalsumma för hela året och om möjligt uppgifter för de tre senaste åren (jämför med checklisten).

- Se "Uppgifter om driften" för grov analys
- Temperatur på avloppsvatten

Beskrivning av metod för rening av avloppsvatten

- Översiktsschema med nuvarande och planerad teknik/hantering
- Rörlednings- och instrumenteringsschema
- Styrsystem för anläggningen
- Hydraulisk längdprofil
- Anläggningsstorlek (tillflöde av avloppsvatten vid torr väderlek, invånartal, personekvivalenter m h t hydraulisk och biologisk belastning.
- Aktuella och framtida avsättningskoncept för rent slam.

Tekniskt underlag för energianvändare och energileverantör

- Uppgifter på de viktigaste elanvändarna (effekt, utnyttjningstid, ålder, verkningsgrad, effektfaktor etc)
- Uppgifter på de viktigaste anläggningarna för att täcka energibehov, ackumuleringsmöjligheter etc (effekt, energi, rökgasvärden, etc)

Genomgång tillsammans med driftpersonal

- Se "Genomgång tillsammans med driftpersonal" för grov analys
- Kompletterande underlag beträffande energianvändning eller drifttider för enstaka anläggningsdelar samt driftförhållande dagtid och veckovis.

2.2 Resultat och data som skall levereras av uppdragstagare

Tillstånd med ÅR - värden

- Lista på alla viktiga energianvändare (som täcker ca 95 % av hela energianvändningen) ordnade efter olika anläggningsdelar (hanteringssteg).
- Energibalans med ÅR-värden för både el- och värme för skilda anläggningsdelar
- Redovisning av energikriterier som använts vid bedömningen av potential.
- En lista på möjliga åtgärder till förbättringar för de största energianvändarna

Katalog över olika åtgärder

- Enstaka energieffektiviserande åtgärder primärt uppdelade i (1) en grupp för omedelbara åtgärder, (2) gruppen kortfristiga åtgärder och slutligen i (3) gruppen för beroende åtgärder. Sekundärt kan sedan energieffektiviserande åtgärder vara indelade med hänsyn till olika anläggningsdelar.
- Användningstid (år)
- Investeringskostnader där man skall skilja på totalinvestering och motiverad merinvestering m h t energieffektivitet.
- Energibesparing vid användning av el och vid användning av värme
- Årskostnader för den energimässigt motiverade merinvesteringen med annuitet och tillhörande underhållskostnad.
- Utnyttjningstid (tim/år)
- Lönsamhet - återbetalningstid

Energibalans :

- Energianvändning för el och värme
- Energibesparing i absoluta tal och procentuellt
- Egenförsörjningsgrad

Energikostnader:

- Minskade energikostnader i absoluta tal och procentuellt
- Återstående energikostnader i absoluta tal och procentuellt

2.3 Färdigställande av rapport och eftervård

Analysen framställs i en kortfattad, enhetlig och översiktlig rapport. Erhållna resultat och rekommendationer presenteras vid ett möte med VA-ansvarig. Uppdragstagaren skall granska de energisparande åtgärderna i en anslutande planeringsfas tillsammans med VA-ansvarig. Efter genomförandet har det visat sig vara mycket lönsamt att göra en uppföljande kontroll av resultat tillsammans med en trimning av driften.

Checklista för grov- och finanalys av energianvändningen.

Grov och finanalys

Data	Enhet	Värde
Dimensionering / antal personekvivalenter	[pe]	
Belastning/tillflöde BOD7, till reningsverket Anpassat till aktuellt årsvärde	[t/år]	
Antal anslutna invånare	inv	
Extern kolkälla ?	ja/nej	
Förekommer nitrifiering?	ja/nej	
Förekommer filtrering?	ja/nej	
Pumpar för lyftning av avloppsvatten Den sammanlagda höjden för lyftning vid inlopp och ev mellan olika reningssteg	[m]	
Tillförd mängd avloppsvatten per år till reningsverket	[m ³ /år]	
Totala mängd tillförd råslam per år	[m ³ /år]	
Totala vikten torrsubstans av råslam per år. (Medelvärde för periodiska mätningen av mängden torrsubstans och medelvärdet för periodisk mätning av densiteten för torrsubstansen)	[t TS/år]	
Organisk andel av slam till röt-kammare Den årliga andelen organisk torrsubstans	[t oTS/år]	
Total produktion av rötgas i normal- kubikmeter (aktuellt årsvärde)	[Nm ³ /år]	
Mängden rötgas som används för produktion av värme i värme pannor (aktuellt årsvärde)	[Nm ³ /år]	
Utnyttjande av rötgas för motordrift / kraftvärme	[Nm ³ /år]	

Grov och finanalys (forts)

Data	Enhet	Värde
Försäljning av rötgas (aktuellt årsvärde)		
Mängd rötgas såld till användare utanför reningsverket.	[Nm ³ /år]	
Mängd rötgas som förbränns genom fackling	[Nm ³ /år]	
Värmeproduktion (Värmepanna, kraftvärmeaggregat) som utnyttjas internt. Sammanlagd årlig värmemängd som produceras och utnyttjas internt.	[MWh/år] [1000 kWh/år]	
Inköp av energi för att täcka värmebehov Den totala årliga mängden värmeenergi i form av eldningsolja, naturgas, fjärrvärme eller bioenergi som köps in och utnyttjas internt.	[MWh/år]	
Intern elproduktion Totala årlig mängd el som produceras i kraftvärmeaggregat och som utnyttjas internt.	[MWh/år]	
Total årlig mängden elenergi från elleverantör	[MWh/år]	
Total elanvändningen för luftning av luftningsbassäng inkl. omrörning, återcirkulation och återföring av slam. Om data inte finns, måste en mätning göras på elanvändning till blåsmaskiner under minst tre månader.	[MWh/år]	
Total elanvändning inom reningsverket	[MWh/år]	
Total elkostnad enligt fakturor från elleverantören inkl effektagifter, lev. energi, energiskatt	[kr/år]	
Kostnad för bränsle och energi för värmebehov (eldningsolja, gas, fjärrvärme, flis, etc.)	[kr/år]	
Aktuellt elenergipris från elleverantören (medelvärde). Total elkostnad dividerat med totala elanvändning	[öre/kWh]	
Aktuellt värmevärde per normalkubikmeter rötgas producerad vid reningsverket.	[kWh/Nm ³]	
Behandlings- och flödesschema samt anläggningsbeskrivning		

Underlag för detaljerad energianalys (Finanalys)

El- och värmeförbrukning för de olika behandlingsstegen uppdelade i :	MWh/år 1000 kWh/år	El	Värme
Rörlednings- och instrumentschema samt flödesschema			
Lista på aggregat med drifttider och motoreffekter			
Lyftpumpar för avloppsvatten	MWh/år		
Intagsgaller	MWh/år		
Sandfång med luftning (1)	MWh/år		
Sandfång med omrörning (2)	MWh/år		
För-sedimentering inkl överskotts-slampump	MWh/år		
Biologiskt reningssteg med luftning	MWh/år		
Luftning / blåsmaskiner	MWh/år		
Omrörning i del av bassäng som inte luftas	MWh/år		
Återcirkulation	MWh/år		
Pumpdrift för återföring av slam	MWh/år		
Luftning endast för biologisk rening (1)	MWh/år		
Luftning med gemensam aerob stabilisering (2)	MWh/år		
Luftning av fyllkroppar till biobädd (3)	MWh/år		
Eftersedimentering inkl. pumpar för slamåterföring	MWh/år		
Dosering av fällningsmedel , simultanfällning	MWh/år		
Slutsteg med filtrering	MWh/år		
Slamfiltrering	MWh/år		
Förtjockning av råslam - gravitationsförtjockare (1)	MWh/år		
Förtjockning av råslam, trumfilter (2)	MWh/år		

Detaljerad energianalys / Finanalys (forts)

El- och värmeförbrukning för de olika behandlingsstegen uppdelade i :	MWh/år 1000 kWh/år	El	Värme
Förtjockning av råslam, filterpress (3)	MWh/år		
Förtjockning av överskottsslam, trumfilter (4)	MWh/år		
Förtjockning av överskottsslam, dekantercentrifug	MWh/år		
Stabilisering av anaerob mesofil (< 40 °C)	MWh/år		
Stabilisering av aerob - termofil (> 60 °C)	MWh/år		
Avvattning, gravimetrisk förtjockning (1)	MWh/år		
Avvattning, dekantercentrifug (2)	MWh/år		
Avvattning, högavvattningscentrifug (3)	MWh/år		
Avvattning, silbandpress (4)	MWh/år		
Avvattning, kammarfilterpress (5)	MWh/år		
Torkning med värme (termisk torkning) (6)	MWh/år		
Torkning genom kompostering (7)	MWh/år		
Pumpdrift för råslam	MWh/år		
Pumpdrift för rötslam	MWh/år		
Ljus, laboratorium och verkstad	MWh/år		
Uppvärmning driftsbyggnader och varmvatten	MWh/år		
Tryckluft - internt nät	MWh/år		
Ventilationsanläggning	MWh/år		
Rening av frånluft	MWh/år		
Diverse	MWh/år		

Bilaga 3

Svenska referenser för effektiv energianvändning

1. **ENEU 94 K "ENEU KOMMUNAL" Anvisningar för energieffektiv upphandling inom bl a kommunal verksamhet - Sammanfattning**
Bengt Dahlgren AB, Göteborg
2. **Programkrav - Industripumpar** NUTEK 1996
Programkrav för lägre kostnader och ökad energieffektivitet för pumpar inom industrin
3. **Programkrav - Industrifläktar** NUTEK 1996
Programkrav för lägre kostnader och ökad energieffektivitet för fläktar inom industrin
4. **Programkrav - Tryckluft** Energimyndigheten 1999
Programkrav för lägre kostnader och ökad energieffektivitet för tryckluft
5. **Programkrav - Belysning i Verkstadsindustrin** NUTEK 1994
Programkrav för god och energieffektiv belysning i verkstadsindustrin
6. **Effektivare elmotordrift** Malmö Energi AB/Sydkraft
7. **El till varje pris?** ALMI Företagspartner, Jönköping 1994



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se