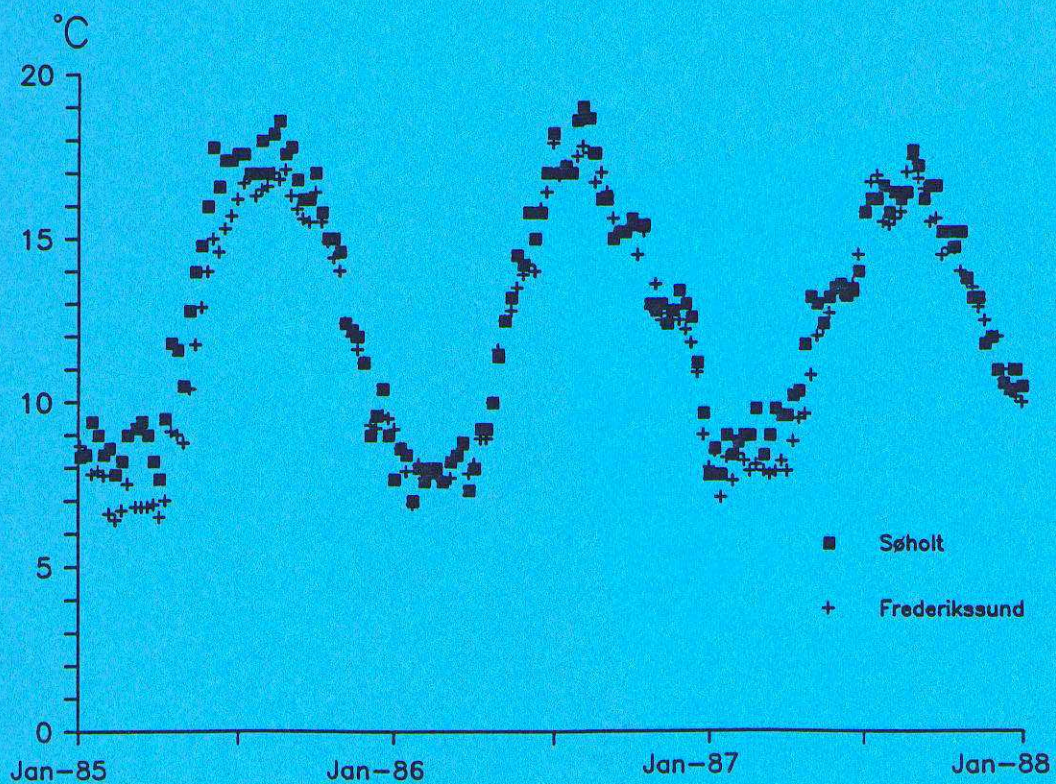


VANDKVALITETSINSTITUTTET ATV

TEMPERATURFORHOLD I DANSKE RENSEANLÆG

INDLEDENDE UNDERSØGELSE



Sag: 6850

Juni 1988

VANDKVALITETSINSTITUTTET ATV

TEMPERATURFORHOLD I DANSKE RENSEANLÆG

INDLEDENDE UNDERSØGELSE

Sagsbehandlere:

Civ.ing. Gert Holm Kristensen
Afd.leder, lic.techn. Jes la Cour Jansen

Sag: 6850
juni 1988

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
STRANDGADE 29
1401 KØBENHAVN K



AGERN ALLE 11 · DK-2970 HØRSHOLM
FORSKERPARKEN, GUSTAV WIEDSVEJ 10 · DK-8000 ARHUS C

☎ *02-86 52 11

☎ 06 20 20 00
06 20 20 11 2100

INDHOLDSFORTEGNELSE

SIDE

Resumé	3
Forord	4
1. Indledning	5
2. Nitrifikation i danske renseanlæg om vinteren	7
3. Temperaturforhold i danske renseanlæg	10
4. Energibalace for et renseanlæg	12
5. Opstilling af temperaturmodel	23
6. Sensitivitetsundersøgelse	25
7. Afprøvning af temperaturmodel	35
8. Anlægs-mæssige dispositioner	37
9. Konklusion	39
Referencer	40
Bilag	
Bilag 1 Symbolliste	
Bilag 2 Middelværdier benyttet ved sensitivitetsanalyse	

RESUMÉ

Rapporten omhandler opstilling og indledende afprøvning af en temperaturmodel til beregning af anlægstemperaturen i danske renseanlæg.

Med udgangspunkt i konkrete beregninger for Søholt renseanlæg opdeles faktorerne, der påvirker temperaturforholdene, i væsentlige faktorer, der bør indgå i en endelig energibalance og uvæsentlige, der vil være uden målelig betydning for anlægstemperaturen. Følgende væsentlige faktorer er fundet: netto kortbølget stråling, fordampning, konvektiv varmeudveksling med luften og procesvarme. De uvæsentlige led udgøres af: netto langbølget stråling, varmeudveksling med jorden, nedbør (direkte på anlægget) og elektrisk tilført varme.

En sensitivitetsanalyse af de indgående parametre viser, at især fordampning og konvektiv varmeudveksling med luften er væsentlige, hvilket medfører, at parametrene overfladeareal og vindhastighed har særlig stor betydning for de kritiske vintertemperaturer. Modelberegninger viser, at der er betydelig temperaturstigning at hente ved at bygge renseanlæg med lille overfladeareal og gode læforhold.

FORORD

Nærværende rapport er resultatet af en indledende undersøgelse vedrørende temperaturforholdene i danske renseanlæg med særlig vægt på de kritiske vintertemperaturer. Undersøgelsen er finansieret af Vandrensningsrådet, med journalnr. M 2046-0001.

Undersøgelsen er foretaget af Vandkvalitetsinstituttet, ATV. En del af undersøgelsen er foretaget i forbindelse med et praktikantophold på VKI af to kemiingeniørstuderende fra Danmarks Ingeniørakademi, DIA-K, /1/.

1. INDLEDNING

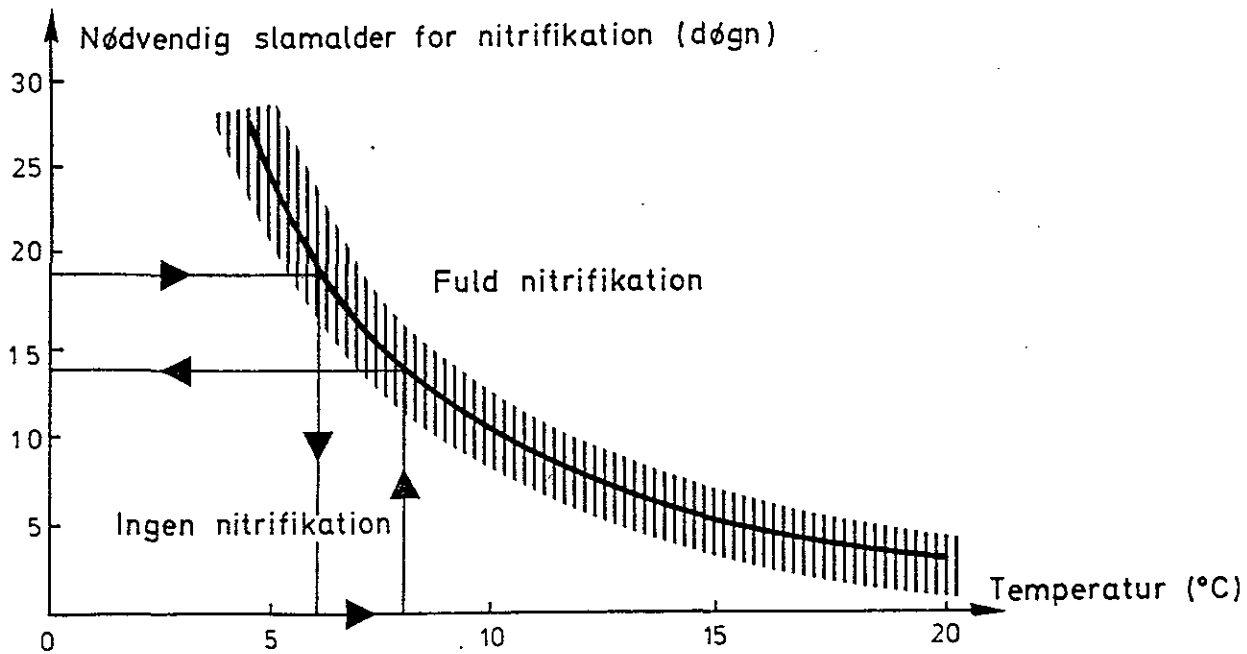
I forbindelse med realiseringen af Vandmiljøhandlingsplanen vil der ske en massiv udbygning af danske renseanlæg til biologisk kvælstoffjernelse.

Den biologiske kvælstoffjernelse foregår i to trin, nitrifikation og denitrifikation, der begge er stærkt temperaturafhængige. Det er derfor en vigtig opgave dels at fastlægge den dimensionsgivende vintertemperatur dels at fastslå, om selve anlæggets konstruktive udformning har væsentlig betydning for den procestemperatur, der etableres i anlægget.

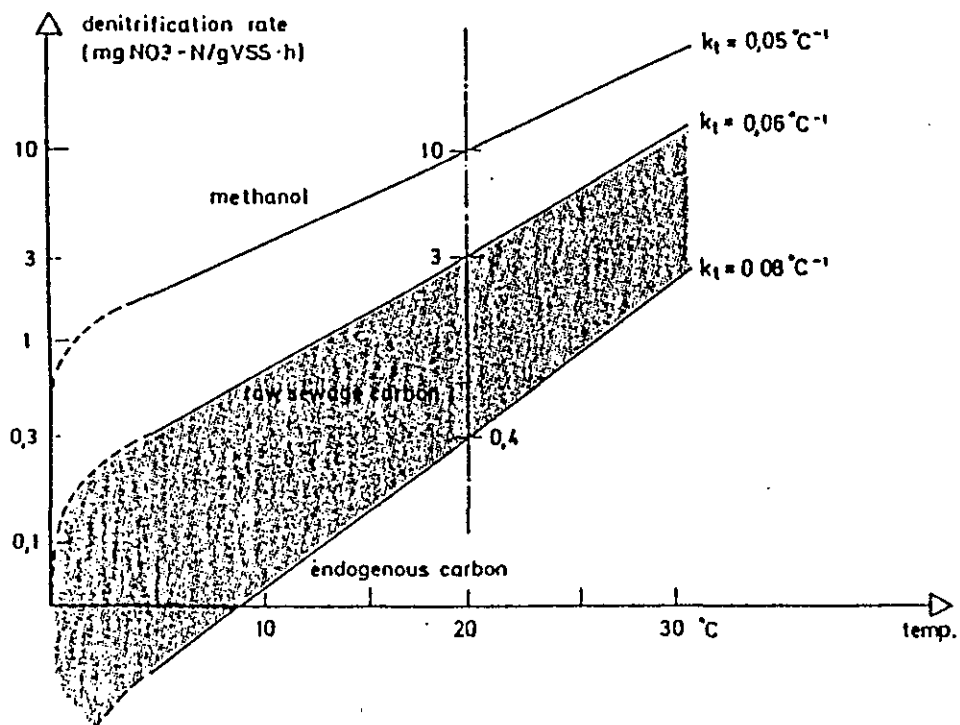
Problemets designmæssige konsekvenser er illustreret på figur 1 og figur 2.

Figur 1 viser den nødvendige aerobe slamalder som funktion af temperaturen. Den aerobe slamalder er proportional med den del af anlægsvolumen, der benyttes til nitrifikation, og dermed meget væsentlig for det samlede anlægs størrelse. På figuren er illustreret, at dersom designtemperaturen blot kan hæves fra 6°C til 8°C, vil den aerobe slamalder kunne sænkes fra ca. 19 døgn til ca. 14 døgn, og anlæggets aerobe del dermed mindskes med ca. 25%. En oversigt over forskellige undersøgelser til belysning af sammenhængen mellem aerob slamalder og nitrifikation er givet i /2/.

Dimensioneringen af anlæggets denitrifikationsvolumen baseres på denitrifikationshastigheden, g nitrat omsat pr. kg slam pr. time. På figur 2 er vist en typisk kurve for denne reaktionshastigheds afhængighed af temperaturen. Som det fremgår, er afhængigheden af temperaturen særlig udtalt i det lave temperaturområde, hvor reaktionshastigheden falder drastisk med faldende temperatur. Øges temperaturen således fra 6°C til 8°C, sker der en øgning i denitrifikationshastigheden med ca. 25%, svarende til en mindskelse af anlæggets denitrifikationsvolumen med ca. 25%.



Figur 1 Nødvendig aerob slamalder for opnåelse af nitrifikation



Figur 2 Denitrifikationshastighedens afhængighed af temperaturen, /3/.

Sikker fastsættelse af designtemperatur og eventuel øgning af temperaturerne i renselanlæggene om vinteren gennem hensigtsmæssig anlægsudformning kan således få væsentlig betydning for anlægsøkonomien.

2. NITRIFIKATION I DANSKE RENSEANLÆG OM VINTEREN

En række danske renselanlæg fungerer med nedsat nitrifikation om vinteren. Figur 3 viser variationen af ammonium i afløbsprøver fra Søholt renselanlæg ved Silkeborg i perioden 1979-1987. Det ses tydeligt, at indholdet er højst i vintermånederne, selvom det nogle år kun er let forhøjet, medens det andre år stiger mere.

Anlægget i Silkeborg har som gennemsnit af hele perioden udledt 1,97 mg/l ammonium.

Et mere generelt overblik fås ved at betragte et bredere udsnit af renselanlæg. Fyns Amtskommune har indsamlet afløbsresultater for perioden fra 1980 til nu fra 24 fynske anlæg med nitrifikation i størrelsen fra 1500 PE til 105.000 PE.

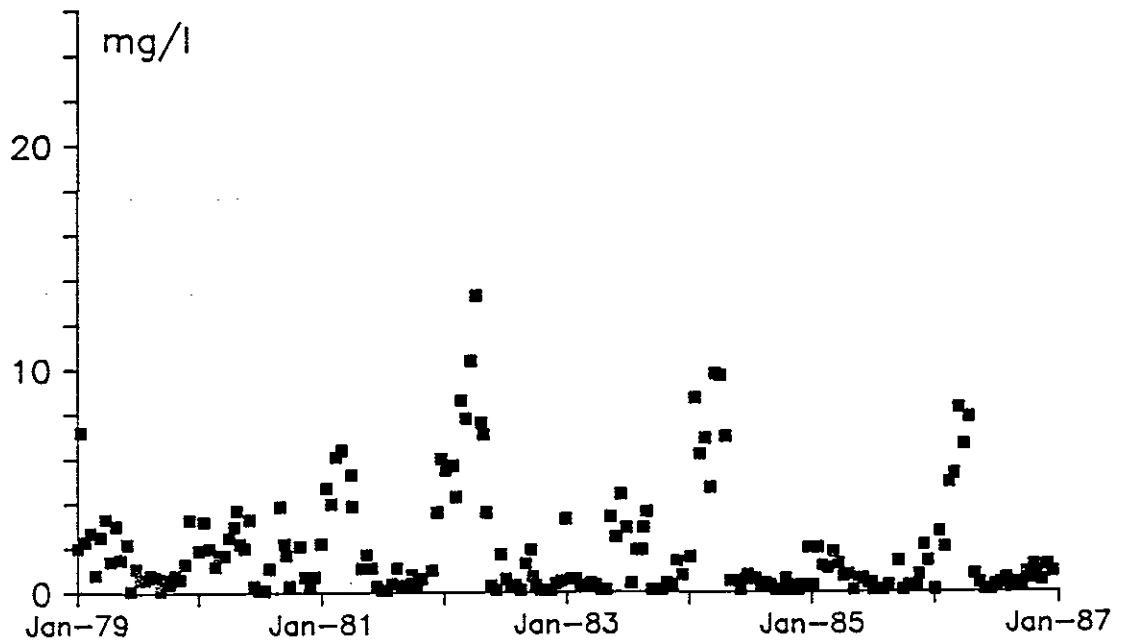
Anlæggene er af vidt forskellig konstruktiv opbygning og belastning, ligesom der foreligger et ret forskelligt datagrundlag. Der foreligger dog mellem 30 og 150 resultater fra de enkelte anlæg.

Figur 4 viser en sammenstilling af anlæggene efter den gennemsnitligt udledte ammoniumkoncentration for hele perioden.

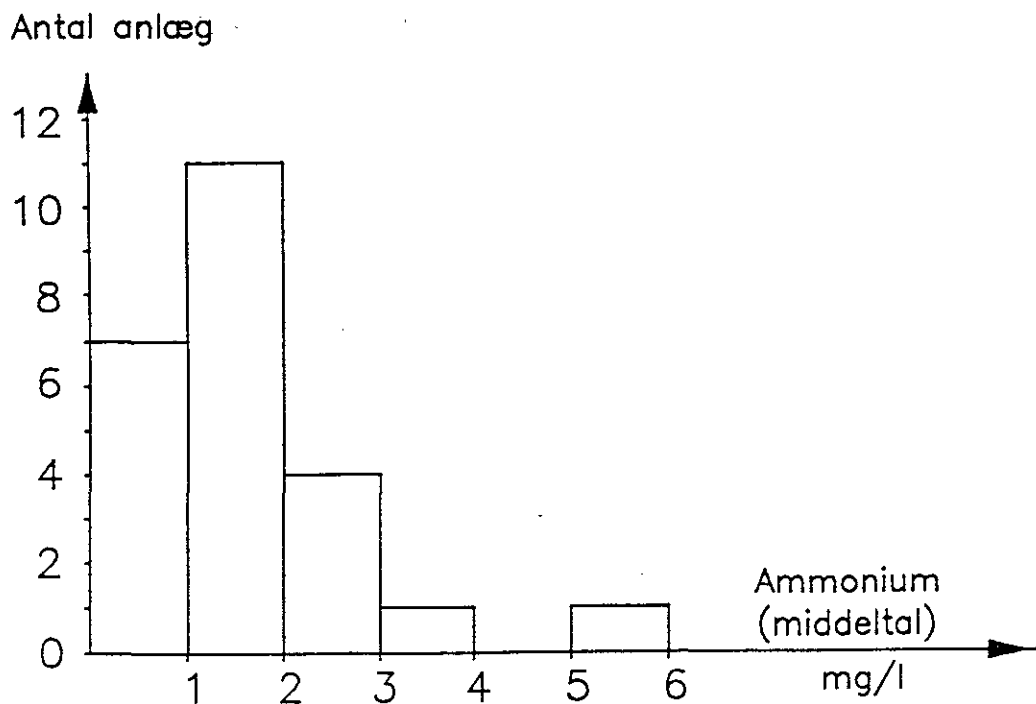
Det ses, at hovedparten af anlæggene som gennemsnit ligger i området under 2 mg/l, hvilket svarer til, at det i de fleste tilfælde vil være muligt at overholde de typiske udlederkrav.

En nærmere analyse af de enkelte anlægs drift viser, at der kun i få tilfælde kan ses en udvikling i ammoniumudledningen

over årene, men at anlæggene tydeligt kan opdeles i 4 hovedgrupper med hensyn til udledningens mønster over året:



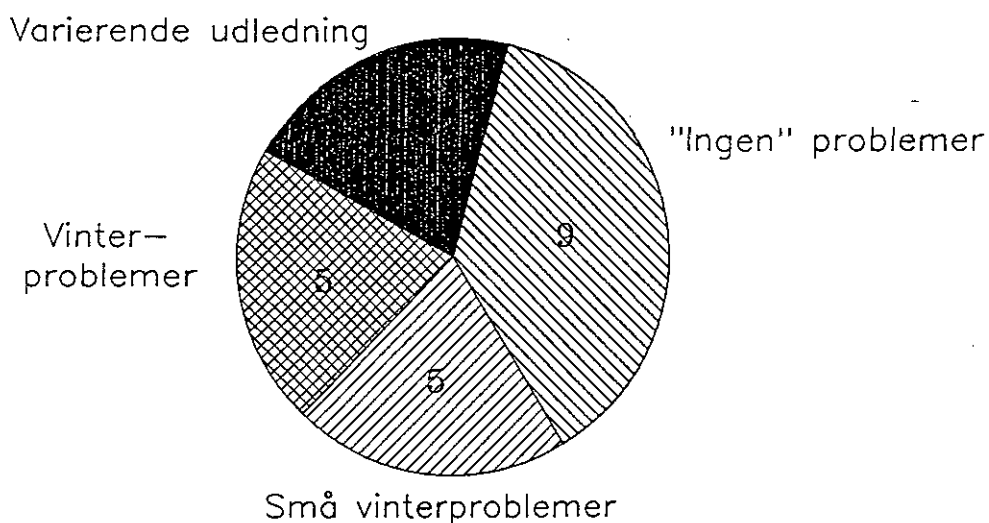
Figur 3 Afløbsværdier for ammonium for Søholt renselanlæg, 1979-1987.



Figur 4 Fordeling af 24 fynske anlæg baseret på gennemsnitlig udledt ammoniumkoncentration.

- Anlæg med konstant lav ammoniumudledning, eller med kun få enkeltstående høje værdier, tilfældigt fordelt.
- Anlæg med mindre stigninger i udledning visse vintre.
- Anlæg med væsentlige ammoniumudledninger stort set hver vinter.
- Anlæg med generelt ujævn ammoniumudledning, som ikke er knyttet specielt til vinterhalvåret.

Figur 5 viser et lagkagediagram med fordelingen på de fire typer.



Figur 5 Fordelingen af 24 fynske anlæg i de 4 hovedgrupper.

Det ses, at vinterdriften giver større eller mindre problemer ved mange af anlæggene; men på trods heraf kan hovedparten af anlæggene altså alligevel klare at udlede mindre end 2 mg/l ammoniumforbindelser i gennemsnit.

Det er ikke muligt på det foreliggende datagrundlag entydigt at afgøre baggrunden for vinterproblemerne på de enkelte anlæg. Det kan således ikke afgøres, om problemerne skyldes tilløbs-temperaturerne, anlæggenes opbygning, specielt kolde vintre, uheldige driftsforhold eller ændringer i belastningsforholdene.

En sådan undersøgelse kræver langt mere detaljerede informationer end de foreliggende.

3. TEMPERATURFORHOLD I DANSKE RENSEANLÆG

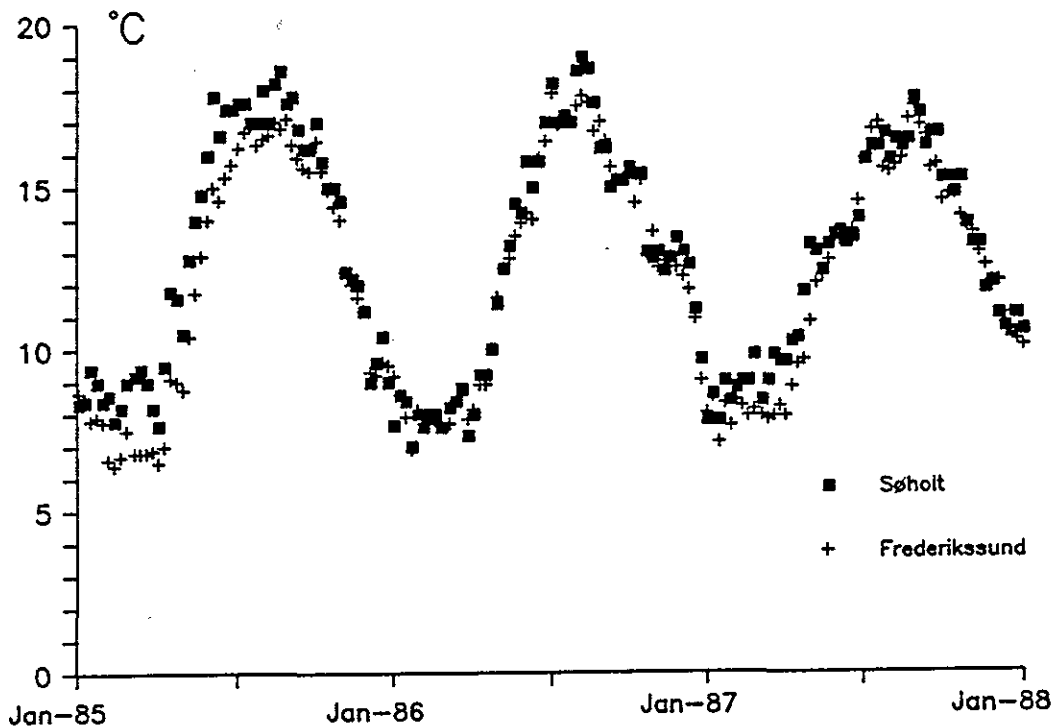
Ved vurderingen af temperaturforholdenes betydning for rensprocesserne er det væsentligt at kende de faktiske temperaturforhold og at klarlægge hvilke forhold, der især betinger disse temperaturer, således at det kan afgøres, om anlæggenes konstruktive udformning og drift har væsentlig indflydelse, eller om temperaturerne må tages for "naturgivne", og indsatsen herefter må rettes mod at designe og drive anlæggene bedst muligt i lyset af de faktiske forhold.

Figur 6 giver et generelt indtryk af temperaturvariationerne (ugemidler) i to danske renseanlæg med kvælstoffjernelse over en 3-årig periode, hvor temperaturen stort set er målt dagligt i anlæggene. Anlæggene er af vidt forskellig konstruktiv opbygning, idet Frederikssund renseanlæg er bygget med lodrette vægge i beluftningstankene og separat efterklaring, medens alle processerne er integreret i tanke med skrå vægge på Søholt renseanlæg. Dermed bliver forholdet mellem overflade og volumen langt større. Overfladearealet pr. volumenenhed er således mere end dobbelt så stort for Søholt renseanlæg som for Frederikssund renseanlæg.

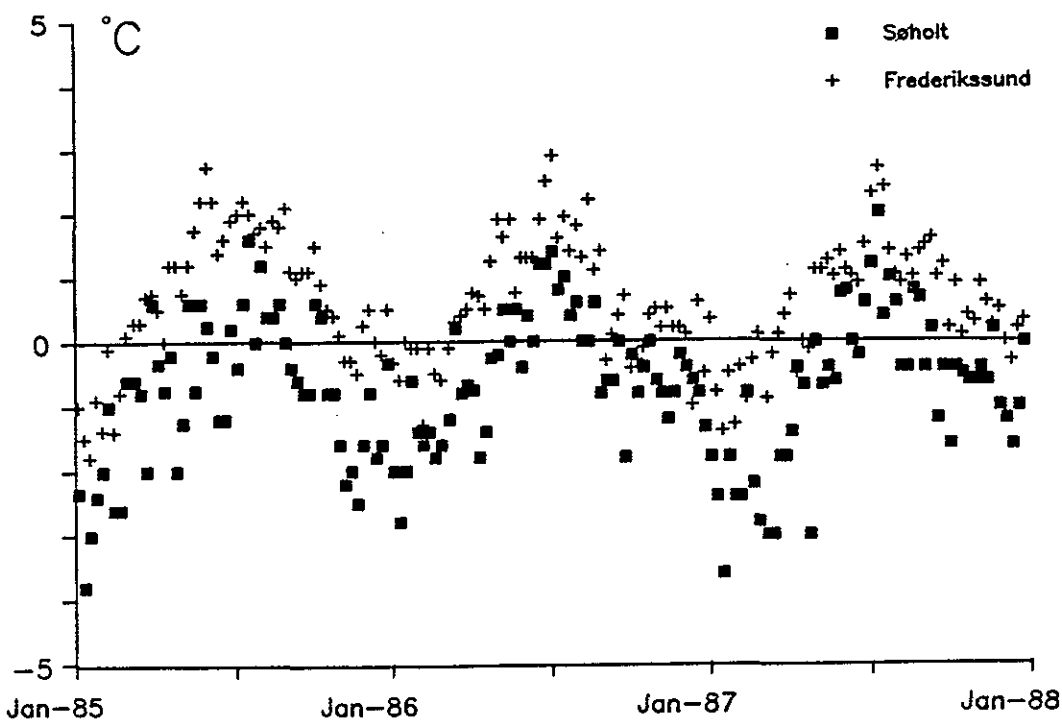
Det ses, at temperaturen som forventet har en tydelig årstidsvariation, varierende i interallet 7-19°C. Forløbet er stort set det samme de enkelte år, og de to anlægs temperaturniveau er relativt ens.

På begge anlæg er målt såvel anlægstemperatur som tilløbs- og afløbstemperatur, således at det kan afgøres, om "anlægget" selv i væsentlig grad bidrager til temperaturforholdene. I figur 7 er vist den dagligt målte temperaturændring over de to anlæg. Det ses, at temperaturændringerne er væsentligt større i Søholt renseanlæg end i Frederikssund renseanlæg.

Således er temperaturfaldet over Søholt renseanlæg typisk to grader større i den kritiske vinterperiode.



Figur 6 Temperaturvariationerne for Søholt og Frederikssund renseanlæg, 1985-1987.

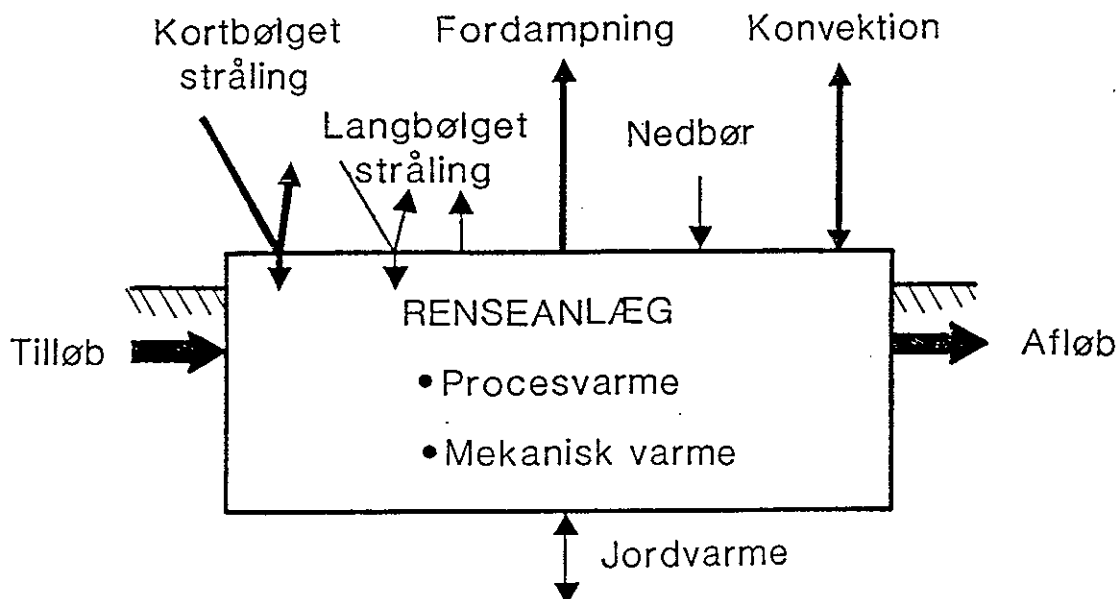


Figur 7 Målt temperaturændring over Søholt og Frederikssund renseanlæg, 1985-1987.

Det kan altså udfra figurerne fastslås, at anlæggene selv i væsentligt, men forskelligt omfang bidrager til den konstaterede anlægstemperatur. Det er derfor ønskeligt at fastslå, hvilke anlægsmæssige forhold, der især er af betydning for temperaturændringerne.

4. ENERGIBALANCE FOR ET RENSEANLÆG

Temperaturen i et renselanlæg er påvirket af en lang række faktorer. I figur 8 er vist elementerne, der må medtages ved opstilling af en energibalance for renselanlægget. I det følgende er de enkelte led i energibalancen kort beskrevet. En detaljeret gennemgang af hvert led inklusive opstilling af operationelle formeludtryk er givet i /1/.



Figur 8 Faktorer, der påvirker temperaturen i et renselanlæg.

Til vurdering af hvert leds betydning for energibalancen er med udgangspunkt i data for Søholt renseanlæg foretaget overslagsberegninger for hvert led. Baseret på disse beregninger er de indgående led opdelt i væsentlige led, der medtages i den endelige temperaturmodel, og uvæsentlige led, der ikke medtages i modellen.

4.1 Tilløb og afløb.

Som det fremgår af figur 7 er de registrerede ændringer i spildevandets temperatur ved passage af renseanlæggene Søholt og Frederikssund maksimalt 3-4°C. I forbindelse med energiligningen er energimængden i tilløb og afløb således sædvanligvis de to væsentligste led.

Tilløbstemperaturen afhænger primært af årstiden, hvor kloaknettets udformning (længde og dybde) må antages at spille en væsentlig rolle for årstidens påvirkning af temperaturen.

Energiændringen fra tilløb til afløb, ΔE , udtrykkes ved den simple sammenhæng

$$\Delta E = Q \cdot \rho_v \cdot c_{pv} \cdot (t_{ud} - t_{ind}) \cdot 10^3 \quad (1)$$

ΔE = energiændringen pr. døgn, J/d

Q = spildevandsmængde pr. døgn, m³/d

ρ_v = massefylde for spildevandet, kg/m³

c_{pv} = varmekapacitet for spildevandet, kJ/kg·°C

t_{ud} = temperatur af spildevandet ved afløb, °C

t_{ind} = temperatur af spildevandet ved tilløb, °C

For massefylde og varmekapacitet anvendes værdierne for rent vand, da indholdet af partikulære stoffer er meget ringe.

I det følgende er faktorerne, der forårsager den ovenfor angivne ændring i energiindholdet i tilløb og afløb, kort beskrevet. En nøjere beskrivelse er givet i /1/. Faktorerne er:

- netto kortbølget stråling
- netto langbølget stråling
- fordampning
- konvektiv varmeudveksling med luften
- varmeudveksling med jorden
- nedbør, direkte på renseanlægget
- procesvarme
- elektrisk tilført varme.

4.2 Netto kortbølget stråling.

Med kortbølget stråling menes solstråling. Når solstrålingen rammer en overflade, sker der såvel en absorption som en refleksion. En overflades refleksionsevne udtrykkes ved refleksionskoefficienten, som udtrykker den brøkdel af indstrålingen, der reflekteres. Refleksionskoefficienten kaldes også albedo.

Til beregning af netto kortbølget indstråling kan anvendes følgende empiriske udtryk, /4/:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{kortbølget}} &= I_0(1-r)(k_1 + k_2 \cdot n/N) \\
 &= I_0(1-r)(0.18 + 0.55 \cdot n/N)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$E_{\text{kortbølget}}$ = netto kortbølget indstråling, $J/m^2 \cdot d$
 I_0 = insolationen, solindstrålingen ved atmosfærens yderside, $J/m^2 \cdot d$

r = albedo

n = aktuelt antal solskinstimer, timer/d

N = maksimalt antal solskinstimer, timer/d

k_1, k_2 = konstanter, der afhænger af geografisk beliggenhed

Insolation og albedo afhænger af årstid og geografisk beliggenhed. I /1/ er opstillet tabeller/kurver, der angiver værdier for danske forhold varierende med årstiden, baseret på /5/ og /6/. I /1/ er ligeledes, baseret på /7/, angivet det maksimale antal solskinstimer pr. dag for danske forhold varierende med året samt middelværdier for n/N , der kan benyttes, såfremt meteorologiske data for det aktuelle antal solskinstimer ikke haves.

Med Søholt renseanlæg som reference er i /1/ beregnet størrelsesordenen af temperaturstigningen forårsaget af kortbølget indstråling en skyfri sommerdag.

Temperaturstigningen kan under disse forhold beregnes til $2,7^{\circ}\text{C}$, hvorfor det konkluderes, at netto kortbølget stråling er en væsentlig faktor, der bør medtages i den endelige model for beregning af temperaturforholdene i danske renseanlæg.

4.3 Netto langbølget stråling

Langbølget stråling udsendes af alle legemer, der har en temperatur over det absolutte nulpunkt. Atmosfæren sender således langbølget stråling til vandoverfladen, der ligeledes udsender langbølget stråling til atmosfæren. Den væsentligste faktor for den energimængde, strålingen indeholder, er temperaturen af overfladen, hvorfra strålingen udsendes. For atmosfærens vedkommende må forhold som luftens indhold af vanddamp og skyforholdene tages i betragtning.

Til beregning af netto langbølget udstråling fra en vandoverflade kan benyttes følgende empiriske formel, /1/, /7/:

$$E_{\text{langbølget}} = -C(T_0^4 - T_1^4(0.53 - 0.056\sqrt{e_1})) \cdot (0.1 + 0.9n/N) \cdot 3600 \cdot 24 \quad (3)$$

$E_{\text{langbølget}}$ = netto langbølget udstråling, $\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

C = Stefan-Boltzmanns konstant, $5,67 \cdot 10^8 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}^4$

T_0 = vandets overfladetemperatur, $^{\circ}\text{K}$

T_1 = luftens temperatur, $^{\circ}\text{K}$

e_1 = vanddamptrykket i 10 m's højde, mm Hg

n = aktuelt antal solskinstimer, timer/dag

N = maksimalt antal solskinstimer, timer/dag

Vandets overfladetemperatur sættes lig temperaturen i anlægget, idet renseanlæg sædvanligvis er godt opblandet. Vanddamptrykket kan beregnes som produkt af mættet vanddamps tryk ved T_1 og den aktuelt forekommende relative fugtighed. Forholdet n/N kan findes som angivet i afsnit 4.2.

I /1/ er foretaget en overslagsberegning til vurdering af betydningen af den langbølgede stråling. Baseret på et sæt typiske data for de indgående parametre er for Søholt renseanlæg beregnet et temperaturfald på 0,00003°C over et døgn.

Netto langbølget stråling er herefter vurderet som uvæsentlig ved opstilling af modellen til beskrivelse af temperaturforholdene i renseanlæg.

4.4 Fordampning

Fordampning fra en fri vandoverflade er en energikrævende proces. Når vandet fordamper, dannes der et lag af mættet vanddamp umiddelbart over overfladen. Fjernes dette lag ikke, vil fordampningen gå i stå. Transporten væk fra overfladen sker ved diffusion eller ved konvektion, hvor konvektionen sædvanligvis er helt dominerende. Afgørende for konvektionens størrelse er vindhastigheden og graden af turbulens i luften umiddelbart over overfladen. Idet mængden af fordampet vand, der kan indeholdes i luften, afhænger af luftens relative fugtighed, må også denne parameter spille en rolle for fordampningens størrelse.

I /1/ er udledt et empirisk udtryk til beregning af energimængden svarende til fordampning af vand fra en fri vandoverflade, /1/, /5/:

$$E_{\text{fordampning}} = \frac{\rho_1 \cdot c_{p1} \cdot (e_{om} - e_1) \cdot \kappa^2 \cdot u_1}{\gamma \cdot \left(\ln \frac{z_1}{z_0}\right)^2} \cdot 3600 \cdot 24 \quad (4)$$

$E_{\text{fordampning}}$ = energi anvendt til fordampning, J/m²·d

ρ_1 = massefylde for luft, 1.3 kg/m³

c_{p1} = luftens varmekapacitet, J/kg·°C

e_{om} = mættet vanddamps tryk ved vandoverfladens temperatur, mmHg

e_1 = vanddamptrykket i højde z_1 , mmHg

κ = Von Karmans konstant = 0.4

u_1 = vindhastigheden i højde z_1 , m/s

γ = psykrometerkonstant = 0.5 mmHg/°C

z_1 = højde, hvor måling foretages, typisk 10m

z_0 = ruhedsparameter, m

Til beregning af luftens varmfylde kan benyttes formelen

$$c_{p1} = (1.00 + 1.88 \cdot 0.622 \frac{e_1}{e_t - e_1}) \cdot 1000 \quad (\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (5)$$

hvor

e_1 = vanddamptrykket i højden z_1 , mm Hg

e_t = totalt lufttryk, mmHg

Som det fremgår af formel (4) er der især tre forhold, der påvirker størrelsen af fordampningen:

- den relative fugtighed, der er bestemmende for størrelsen af e_1
- vindhastigheden, u_1
- ruhedsforholdet, z_1/z_0

Ruhedsforholdet, z_1/z_0 , er en parameter, der benyttes til at beskrive graden af turbulens i luften over vandoverfladen. Med øget ruhed, z_0 , fås mindsket ruhedsforhold og dermed øget fordampning. Ruheden af en fri vandoverflade er rimeligt veldefineret, medens forholdene i det aktuelle tilfælde er mere komplicerede, idet der dels er tale om ruheden af selve vandoverfladen og dels om en "ruhed" af området, forårsaget af diverse bygninger, læhegn m.v. Ruhedsforholdet er således en usikker parameter, der må vurderes nærmere ved det videre arbejde. I det efterfølgende beregningseksempel er anvendt en værdi for ruhedsforholdet, der har givet gode resultater i forbindelse med kalibreringen af den endelige temperaturmodel.

I /1/ er foretaget en beregning af formel (4) baseret på Søholt renseanlæg af energitabet ved fordampning en blæsende sommerdag (12 m/s). Resultatet af beregningen blev et temperaturfald på

5,3°C, hvorfor det skønnes, at fordampning er en væsentlig faktor, der bør indgå i temperaturmodellen.

4.5 Konvektiv varmeudveksling med luften

Når luftens temperatur er enten højere eller lavere end vandets, vil der ske en varmeudveksling, hvor der ved ledning transporteres energi fra den høje temperatur til den lavere. Denne faktor kaldes i det følgende konvektiv varmetransport.

Til beregning af den konvektive varmetransport er opstillet følgende empiriske ligning, /1/, /5/:

$$E_{\text{konvektiv}} = \rho_1 \cdot c_{p1} \cdot \frac{(t_1 - t_0) \cdot \kappa^2 \cdot u_1}{\left(\ln \frac{z_1}{z_0}\right)^2} \cdot 3600 \cdot 24 \quad (6)$$

$E_{\text{konvektiv}}$ = konvektiv varmeudveksling med luften, J/m²·d

ρ_1 = massefylde for luft, 1.3 kg/m³

c_{p1} = varmekapacitet for luft

t_1 = luftens temperatur, °C

t_0 = vandoverfladens temperatur, °C

κ = Von Karmans konstant = 0.4

u_1 = vindhastighed i højden z_1 , m/s

z_1 = højde, hvor måling foretages, typisk 10 m

z_0 = ruhedsparemeter, m

Størrelsen af varmetransporten er naturligt nok afhængig af temperaturforskellen på luft og vand. Desuden afhænger den af de samme parametre, som påvirkede den konvektive transport af fordampet vand som beskrevet i afsnit 4.4, nemlig turbulensforholdene i luften over vandoverfladen og vindhastigheden.

I /1/ er foretaget beregning af størrelsesordenen af den konvektive varmetransport på en kold (-16°C) og blæsende (12 m/s) vinterdag. Baseret på data fra Søholt renseanlæg er fundet et hertil svarende temperaturfald på 11.9°C, hvorfor den konvektive varmetransport medtages i temperaturmodellen.

4.6 Varmeudveksling med jorden

Jordens temperatur svinger på årsbasis med samme frekvens som lufttemperaturen, men med aftagende amplitude, jo længere man kommer ned i jorden.

Jorden vil derfor have en temperatur, der er forskellig fra anlægstemperaturen, hvorfor der vil ske en vis varmeudveksling mellem jorden og anlægget. Varmeledningen kan medføre stigning eller fald i anlæggets temperatur, afhængig af temperaturdifferencen mellem jord og anlæg.

Beregningen af størrelsen af varmeudvekslingen mellem jord og anlæg er temmelig kompliceret og må i princippet foregå ved anvendelse af numeriske modeller.

I /1/ er forholdene nærmere beskrevet, og der er ved to uafhængige tilnærmede beregninger af den maksimale varmeudveksling fundet (baseret på Søholt renseanlæg) henholdsvis 0.04°C og 0.05°C som maksimale temperaturpåvirkninger over 1 døgn.

Udvekslingen af varme mellem jord og anlæg er således en ubetydelig faktor, der ikke medtages i den endelige temperaturmodel.

4.7 Nedbør

Nedbør kan forekomme i form af regn eller sne.

Når regn falder på renseanlæggets vandoverflade, vil regnen medføre en vis energimængde. Den medbragte energi kan, hvis temperaturen af regnvandet er forskellig fra anlæggets, medføre en ændring i anlæggets energiindhold. Mængden af energi, der vindes eller tapes, kan udtrykkes således:

$$E_{\text{regn}} = Q_v \cdot c_{pv} \cdot (t_1 - t_0) \cdot \rho_v \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

E_{regn} = energiændring som følge af regn, $\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

Q_v = mængde af regn, m/d

c_{pv} = varmfylde for vand, J/kg·°C
 t_1 = regnens (luftens) temperatur, °C
 t_0 = anlæggets temperatur, °C
 ρ_v = massefylde for regn, kg/m³

Når sne rammer anlæggets vandoverflade, vil der først ske en opvarmning af sneen til 0°C, derefter en smeltning af sneen og endelig en opvarmning af smeltevandet til anlæggets temperatur. Mængden af energi, som anlægget mister ved disse processer, kan beregnes således:

$$E_{sne} = c_{p,sne} \cdot \rho_{sne} \cdot Q_{sne} \cdot t_1 + L_{sne} \cdot Q_{sne} \cdot \rho_{sne} + c_{pv} \cdot \rho_{sne} \cdot Q_{sne} \cdot t_0 \quad (8)$$

E_{sne} = energiændring som følge af sne, J/m²·d
 $c_{p,sne}$ = varmfylde for sne, J/kg·°C
 ρ_{sne} = massefylde for sne, kg/m³
 Q_{sne} = mængde af sne, m/d
 t_1 = luftens temperatur, °C
 L_{sne} = smeltevarame for sne, 335kJ/kg
 c_{pv} = varmfylde for vand, J/kg·°C
 t_0 = anlæggets temperatur

Ved beregning af energitabet på grund af snefald indgår varmfylde og massefylde for sne. Varmefylden varierer lidt med temperaturen, men kan her sættes til 2.1 kJ/kg·°C. Sneens massefylde varierer en del med temperaturen. I /1/ er vist en kurve fra /8/, der kan benyttes ved fastsættelse af denne størrelse.

I /1/ er foretaget beregninger af de temperaturændringer, der kan forventes på Søholt renseanlæg ved henholdsvis regn og sne.

Ved 25 mm regn (på ét døgn) med en temperatur 10°C højere eller lavere end anlæggets temperatur vil kunne forventes en temperaturstigning hhv. et temperaturfald på 0,1°C.

Ved 30 cm sne (på ét døgn) med en temperatur på $\pm 16^{\circ}\text{C}$ vil forventes et fald i anlægstemperatur på $0,2^{\circ}\text{C}$.

De således konstaterede ændringer i anlægstemperatur som følge af nedbør vurderes værende så små i sammenligning med øvrige interessante faktorerens bidrag til temperaturudviklingen, at der kan ses bort fra nedbørens indflydelse på temperaturen i anlægget ved opstilling af temperaturmodellen.

4.8 Elektrisk tilført energi

På et renseanlæg benyttes en del elektrisk energi, hvoraf hovedparten medgår til beluftsaggregaterne, mens en mindre del medgår til pumpning af spildevand og slam. Den energi, der afsættes i spildevandet, vil forventeligt være proportional med energiforbruget til spildevandsbehandlingen, hvor proportionalitetsfaktoren er en gennemsnitlig "virkningsgrad" for systemet:

$$E_{el} = \eta \cdot E_{elforbrug} \cdot 3.6 \cdot 10^6 \quad (9)$$

E_{el} = energi tilført via elforbrug, J/d

η = systemets gennemsnitlige virkningsgrad

$E_{elforbrug}$ = elektrisk energiforbrug, kWh/d

I forbindelse med beregning af den i vandet afsatte elektriske energi består problemet således i at skønne en rimelig værdi for virkningsgraden. Et mål for den maksimalt afsatte energi kan dog fås ved at anvende en gennemsnitsværdi for de maskinelle virkningsgrader.

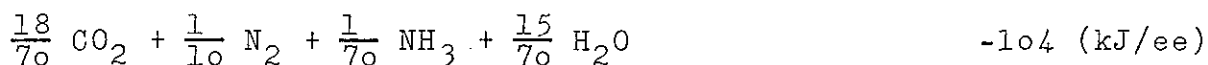
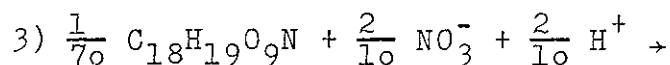
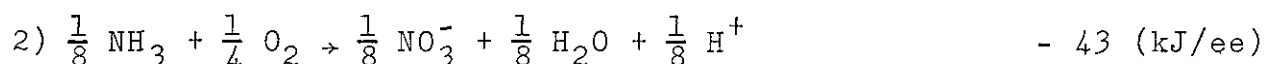
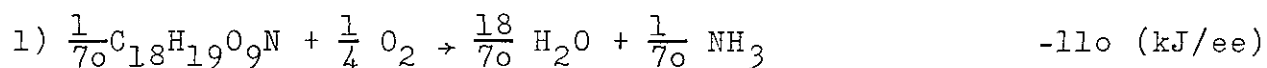
I /1/ er med udgangspunkt i dette foretaget en overslagsberegning for Søholt renseanlæg. Beregningen resulterer i en maksimal temperaturstigning på $0,13^{\circ}\text{C}$. Idet der her er tale om en maksimalværdi, hvor det antages, at al den optagne energi afsættes i vandet, er der således ikke grundlag for at medtage elektrisk tilført energi i den endelige temperaturmodel.

4.9 Procesvarme

I biologiske renseanlæg produceres der energi i form af varme som følge af den mikrobiologiske aktivitet. De nærmere forhold til belysning af dette er beskrevet i /9/. I et anlæg med biologisk kvælstoffjernelse er der tre processer, der bidrager til energiproduktionen:

- 1) aerob omsætning af organisk stof
- 2) nitrifikation
- 3) denitrifikation

Med antagelse af, at organisk stof gennemsnitligt har formlen $C_{18}H_{19}O_9N$ kan reaktionsudtrykkene opskrives, /1/, /9/, (idet den eksponentielle vækst af mikroorganismer er forsvindende):



Til højre for reaktionerne er angivet "Gibb's frie energi", J pr. elektronækvivalent, der angiver den ved processen producerede varme.

Ved beregningen af procesvarmen fra disse reaktionsudtryk gøres følgende antagelser vedrørende stofomsætninger i anlægget:

- COD_{ind} og total-N_{ind} er kendte størrelser
- alt kvælstof i tilløbet nitrificeres
- 80% af alt kvælstof i tilløbet denitrificeres
- til denitrifikation medgår 3 g COD pr. g NO₃-N denitrificeret
- den resterende mængde COD, COD_{aer}, omsættes aerobt.

Baseret på disse antagelser samt reaktionsudtrykkene 1), 2) og 3) kan opstilles følgende operationelle udtryk for procesvarmen, /1/:

$$E_{\text{proces}} = -(\Delta G_1 \cdot \frac{4 \cdot \text{COD}_{\text{aer}}}{32} + \Delta G_2 \cdot \frac{8 \cdot \text{total-N}}{14} + \Delta G_3 \cdot \frac{5 \cdot 0,8 \cdot \text{total-N}}{14}) \cdot 10^6 \quad (10)$$

E_{proces} = udviklet procesvarme, J/m³

ΔG_1 = -110 kJ/ee

ΔG_2 = - 43 kJ/ee

ΔG_3 = -104 kJ/ee

$\text{COD}_{\text{aer}} = \text{COD}_{\text{ind}} - 3 \cdot 0,8 \cdot \text{total-N}_{\text{ind}}$

$\text{total-N} = \text{total-N}_{\text{ind}}$

I /1/ er for spildevand indeholdende 350 g/m³ COD og 30 g/m³ total-N beregnet en temperaturstigning ved procesvarme på 1,3°C. Bidraget til temperaturudviklingen i et renseanlæg vurderes derfor påvirket mærkbart af procesvarmen, der derfor medtages i den endelige temperaturmodel.

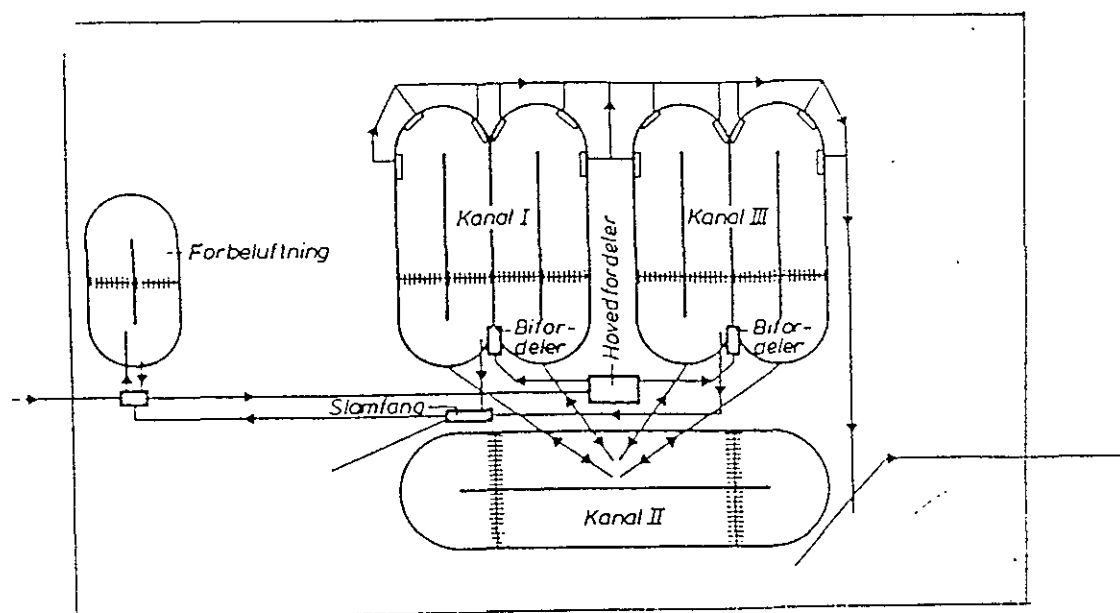
5. OPSTILLING AF TEMPERATURMODEL

I foregående afsnit er opstillet ligninger til beregning af energimængden hidrørende fra de forskellige faktorer, der påvirker temperaturen i et renseanlæg. På baggrund af overslagsberegninger er faktorerne netto langbølget stråling, varmeudveksling med jorden, nedbør og elektrisk energitilførsel vurderet som værende uvæsentlige for anlægstemperaturen. Den endelige energibalance kan da opstilles med følgende forudsætninger:

- 1) simpel systemgrænse
- 2) systemet regnes stationært i tiden

Systemgrænsen er på figur 9 illustreret for Søholt renseanlæg. Systemgrænsen er lagt omkring forbelufteren og de tre kanaler.

Med den valgte grænse er det her antaget, at systemet består af én kanal med én overflade og ét volumen. Der er således her ikke skelnet mellem de forskellige forhold, der eksisterer i de forskellige kanaler for dette anlægs vedkommende. For traditionelt opbyggede anlæg med adskilt reaktionsvolumen og klaringsfunktion vil systemgrænsen meget hensigtsmæssigt ligge omkring reaktionstankene.



Figur 9 Systemgrænse for temperaturmodel for Søholt renseanlæg.

Systemet regnes stationært i tiden. Som tidsenhed for de stationære beregninger er valgt ét døgn svarende til en typisk, hydraulisk opholdstid for anlæg med næringssaltfjernelse.

Den endelige energibalance omfattende de væsentlige led bliver da, baseret på vurderingerne foretaget i afsnit 4:

$$\Delta E = E_{\text{kortbølget}} + E_{\text{fordampning}} + E_{\text{konvektiv}} + E_{\text{proces}}$$

$$\Delta E = Q \cdot \rho_v \cdot c_{pv} \cdot (t_{ud} - t_{ind}) \cdot 10^3$$

$$E_{\text{kortbølget}} = I_0 (1 - r) (0,18 + 0,55n/N) \cdot A$$

$$E_{\text{fordampning}} = \frac{\rho_1 \cdot c_{p1} \cdot (e_{om} - e_1) \cdot \kappa^2 \cdot u_1}{\gamma \cdot \left(\ln \frac{z_1}{z_0}\right)^2} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot A$$

$$E_{\text{konvektiv}} = \rho_1 \cdot c_{p1} \cdot \frac{(t_1 - t_0) \cdot \kappa^2 \cdot u_1}{\left(\ln \frac{z_1}{z_0}\right)^2} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot A$$

$$E_{\text{proces}} = -(\Delta G_1 \cdot \frac{4 \cdot \text{COD}_{aer}}{32} + \Delta G_2 \cdot \frac{8 \cdot \text{total-N}}{14} + \Delta G_3 \cdot \frac{5 \cdot 0,8 \cdot \text{total-N}}{14}) \cdot 10^6 \cdot Q$$

Alle formler har enheden J/d ved anvendelse af enhederne angivet for hver parameter som beskrevet i symbollisten, bilag 1.

6. SENSITIVITETSANALYSE

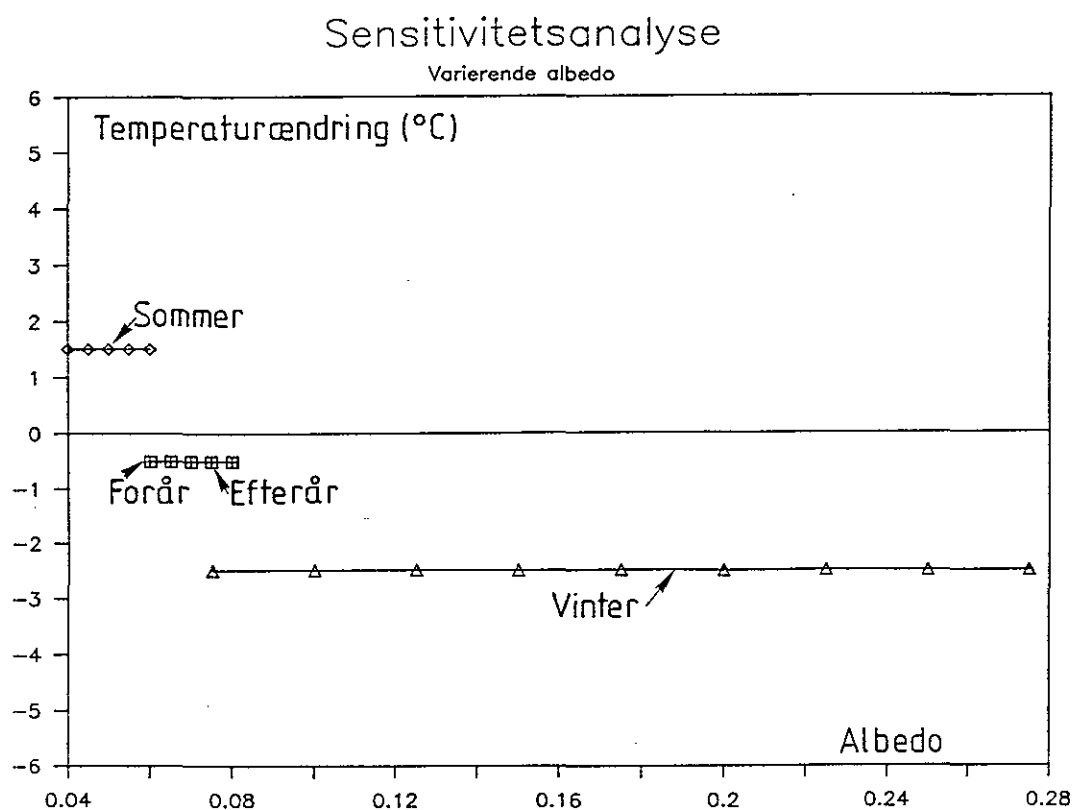
Til illustration af temperaturmodellens følsomhed overfor variationen i de indgående parametre er foretaget en række sensitivitetsanalyser, med udgangspunkt i Søholt renseanlæg.

Basis for sensitivitetsanalyserne er en række middelværdier for de indgående parametre for hver årstid. Disse middelværdier er givet i bilag 2. Middelværdierne er sammensat af midlede driftsværdier for Søholt renseanlæg og midlede meteorologiske data for et typisk dansk "normalår", /10/.

6.1 Albedo

Albedo-refleksionskoefficienten, indgår i formlen til beregning af kortbølget indstråling. Af /1/ fremgår, at albedoen er temmelig usikkert bestemt, idet den er afhængig af skyforholdene.

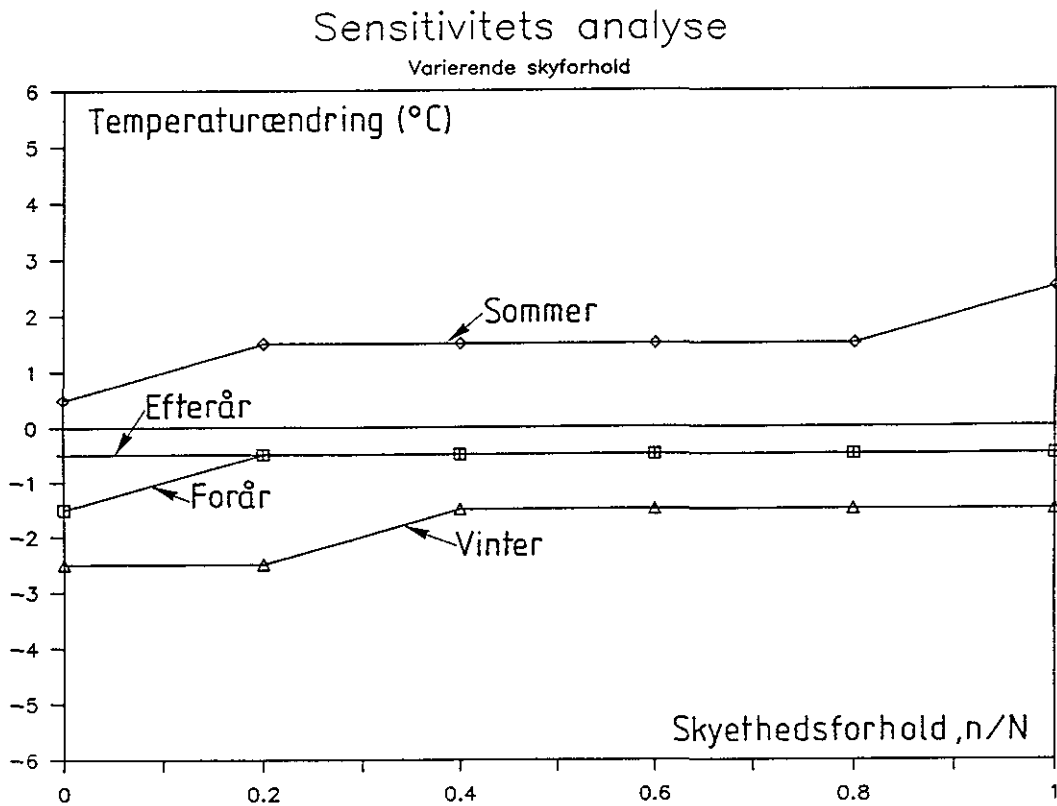
Figur 10 illustrerer modellens følsomhed overfor variationen i albedo. Det ses, at variationer i albedoen har ringe indflydelse på størrelsesordenen af den kortbølgede indstråling, idet modellen ikke viser nogen følsomhed overfor denne parameter.



Figur 10 Sensitivitetsanalyse for albedo.

6.2 Skyethedsforholdet, n/N

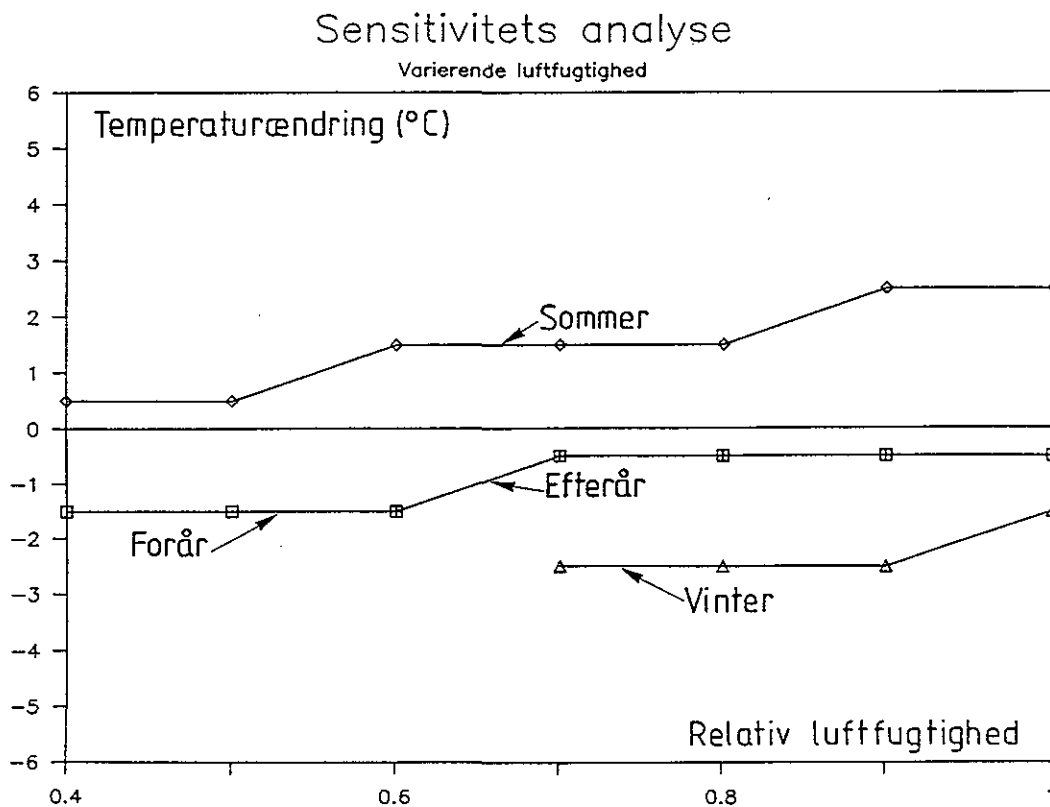
I formelen til beregning af kortbølget indstråling indgår det naturgivne forhold, skyethedsforholdet. Af figur 11 fremgår, at indflydelsen på temperaturen i anlægget er størst om sommeren, hvilket skyldes, at den kortbølgede indstråling, p.g.a. insolationen, her har betydning i forhold til de øvrige led i energiligningen.



Figur 11 Sensitivitetsanalyse for skyethedsforholdet.

6.3 Relativ luftfugtighed

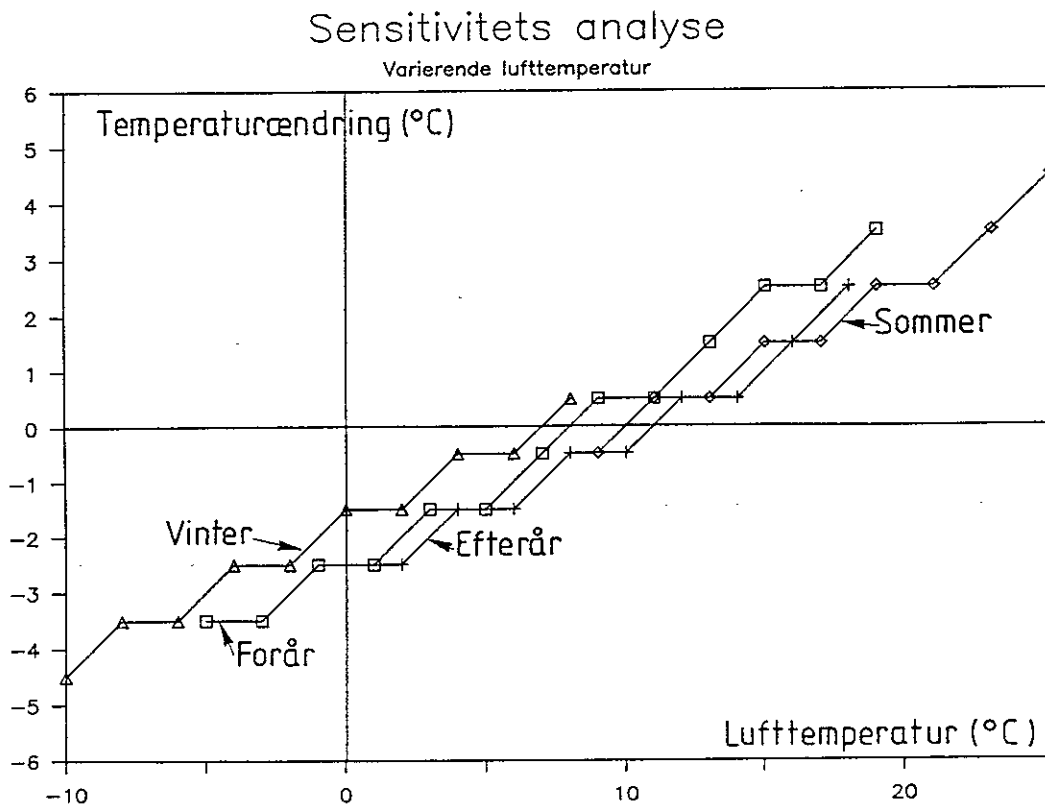
Luftfugtigheden er en kendt naturgiven størrelse, som indgår i udtrykkene for fordampning og konvektiv varmetransport. Af figur 12 fremgår modellens følsomhed overfor variationer i den relative fugtighed. Den stigende udløbstemperatur med øget luftfugtighed er et resultat af formindsket fordampning.



Figur 12 Sensitivitetsanalyse for relativ luftfugtighed.

6.4 Lufttemperatur

I formlerne for konvektiv varmetransport og fordampning indgår lufttemperaturen. Figur 13 illustrerer, at anlægstemperaturen er stærkt afhængig af lufttemperaturen; jo højere lufttemperatur desto højere anlægstemperatur. Endvidere ses det, at afhængigheden ikke varierer med årstiden.



Figur 13 Sensitivitetsanalyse for lufttemperatur.

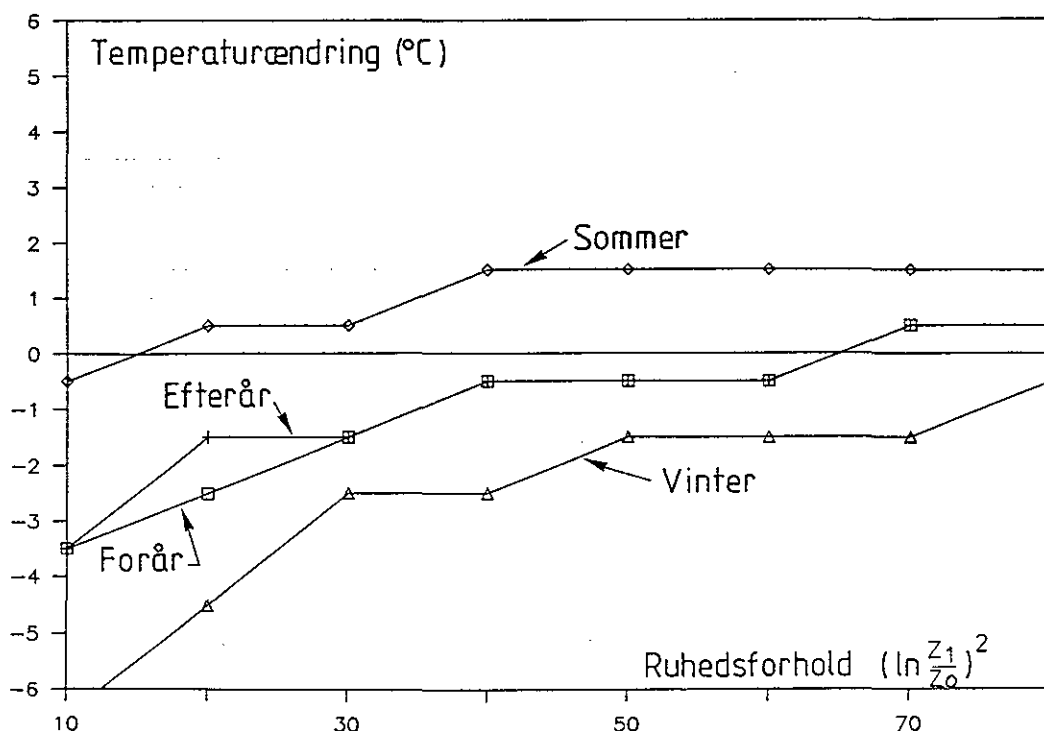
6.5 Ruhedsforholdet

I ligningerne er fordampning og konvektiv varmetransport indgår ruhedsforholdet $(\ln z_1/z_0)^2$. z_1 er højden, hvor temperatur, luftfugtighed og vindhastighed måles, mens z_0 er en ruhedsparameter, der tager hensyn til vandoverfladens og omgivelsernes beskaffenhed (læhegn, beplantning, bebyggelse m.m.).

I litteraturen er angivet z_0 -værdier for åbne landområder (0,01m), landbrugsområder med hegn og spredt bebyggelse (0,05m), og for skov og landbrugsområder med mange hegn (0,3m).

Ruhedsforholdet må skønnes at være en parameter, der varierer fra anlæg til anlæg, og som er usikkert bestemt, indtil der er opnået en vis erfaring med størrelsen fundet ved kalibrering af modellen på forskellige typer renseanlæg.

På figur 14 er vist ruhedsforholdets betydning for anlægstemperaturen. Som det ses, stiger anlægstemperaturen med ruhedsforholdet, hvilket skyldes, at fordampning og konvektiv varmetransport er omvendt proportionale med ruhedsforholdet.

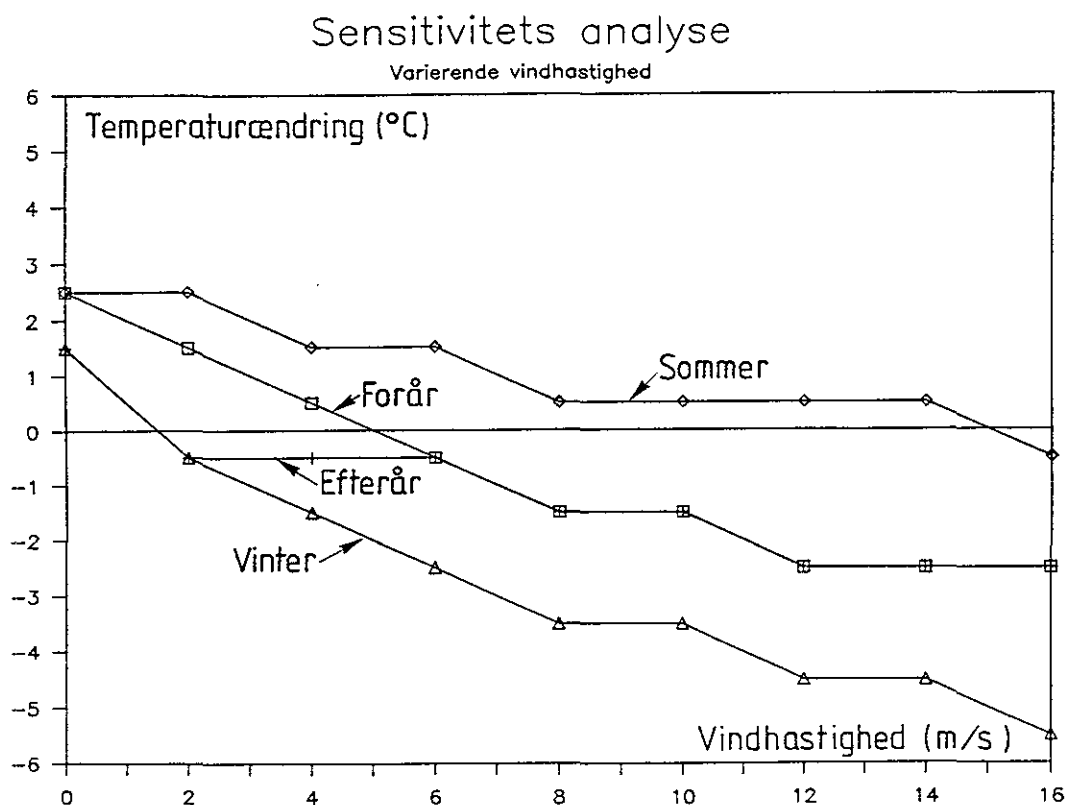


Figur 14 Sensitivitetsanalyse for ruhedsforholdet.

6.6 Vindhastigheden

Vindhastigheden er en kendt meteorologisk størrelse, som er en vigtig faktor til beregning af fordampning og konvektiv varmetransport.

Anlægstemperaturen falder med øget vindhastighed, jævnfør figur 15, hvilket skyldes, at de ovennævnte led er proportionale med vindens hastighed. Figuren viser endvidere, at afhængigheden er størst om vinteren, hvilket er et resultat af årstidsvariationerne i den konvektive varmeudveksling med luften.

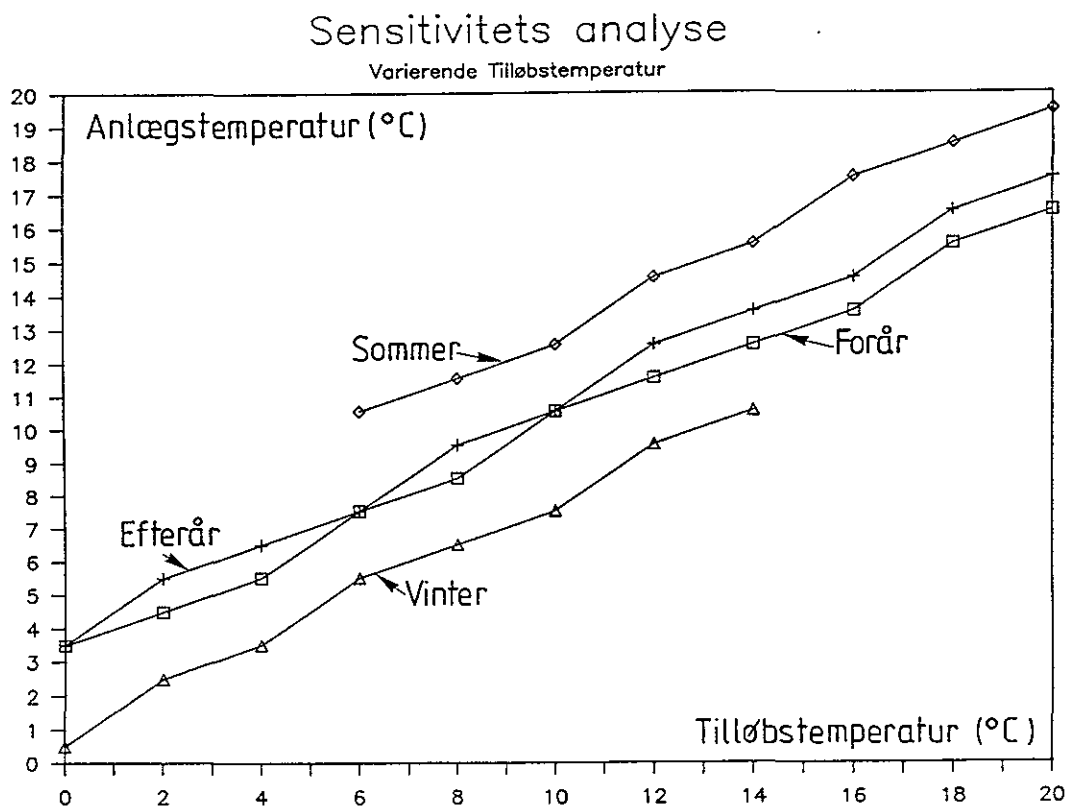


Figur 15 Sensitivitetsanalyse for vindhastighed.

6.7 Tilløbstemperaturen

Tilløbstemperaturen har indflydelse på den energimængde, der tilføres via tilløbet.

Figur 16 viser, at jo større tilløbstemperaturen bliver, desto større bliver udløbstemperaturen. Hver gang tilløbstemperaturen stiger 10°C , stiger udløbstemperaturen dog kun 7°C . Dette skyldes, at med stigende anlægstemperatur følger et større varmetab til omgivelserne.

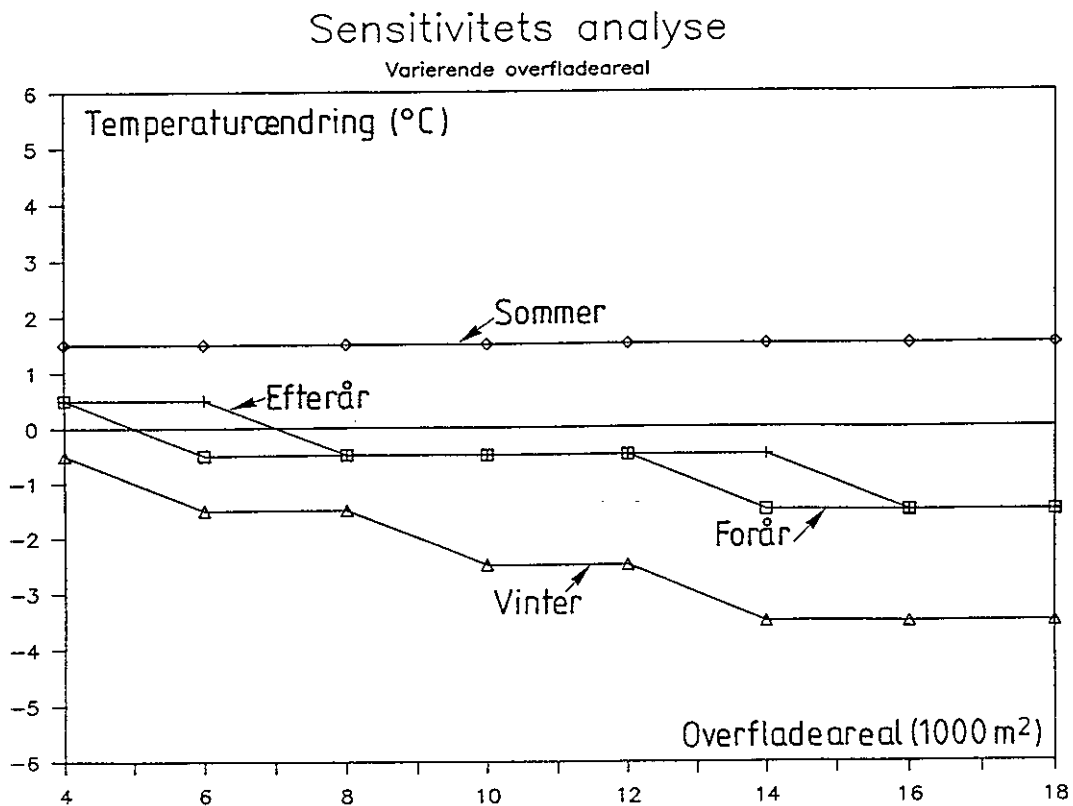


Figur 16 Sensitivitetsanalyse for tilløbstemperatur.

6.8 Overfladearealet

Overfladearealet, der er bestemt ved dimensioneringen af anlægget, indgår i beregning af kortbølget indstråling, fordampning og konvektiv varmeledning. Overfladearealets betydning for anlægstemperaturen er årstidsbestemt, som det fremgår af figur 17. Om vinteren er anlæggets temperatur stærkt afhængig af arealet, således at temperaturen falder med stigende areal. Efterår og forår viser ligeledes en afhængighed af arealet, dog i mindre grad end om vinteren. Sommerperiodens anlægstemperatur er uafhængig af overfladens areal.

Denne årstidsvariation skyldes, at de nævnte led alle stiger numerisk med stigende arealstørrelse samtidig med, at konvektiv varmeledning har modsat fortegn sommer og vinter.

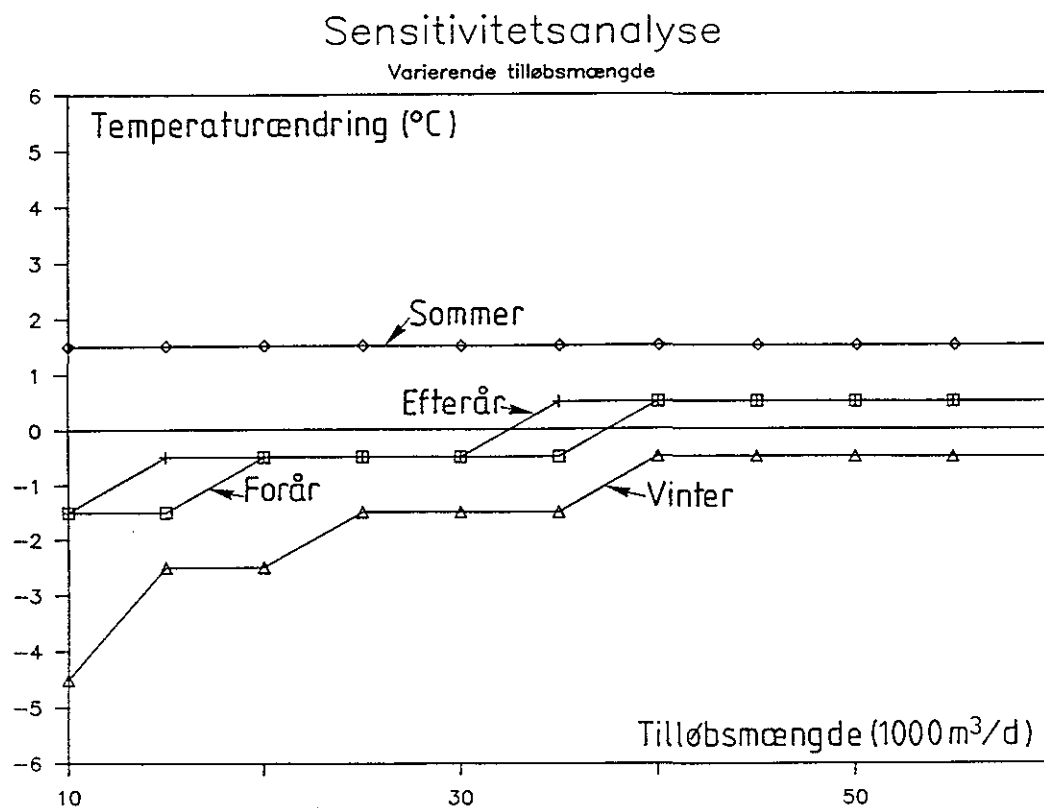


Figur 17 Sensitivitetsanalyse for overfladearealet.

6.9 Tilløbsmængde

Tilløbsmængden måles hver dag på renseanlægget og er derfor en velkendt størrelse. Indflydelsen af tilløbsmængden (opholdstiden i anlægget) på temperaturforholdene fremgår af figur 18.

Som det fremgår af figuren, er modellens følsomhed overfor tilløbsmængden især stor om vinteren ved lave tilløbsmængder (lange opholdstider).



Figur 18 Sensitivitetsanalyse for tilløbsmængde.

7. AFPRØVNING AF TEMPERATURMODEL

Den endelige energibalance indeholdende leddene sammenstillet i afsnit 5 er indledende afprøvet med data fra Søholt renseanlæg for året 1987.

Data for tilløbsmængde samt tilløbs- og lufttemperatur er taget fra renseanlæggets driftsjournaler.

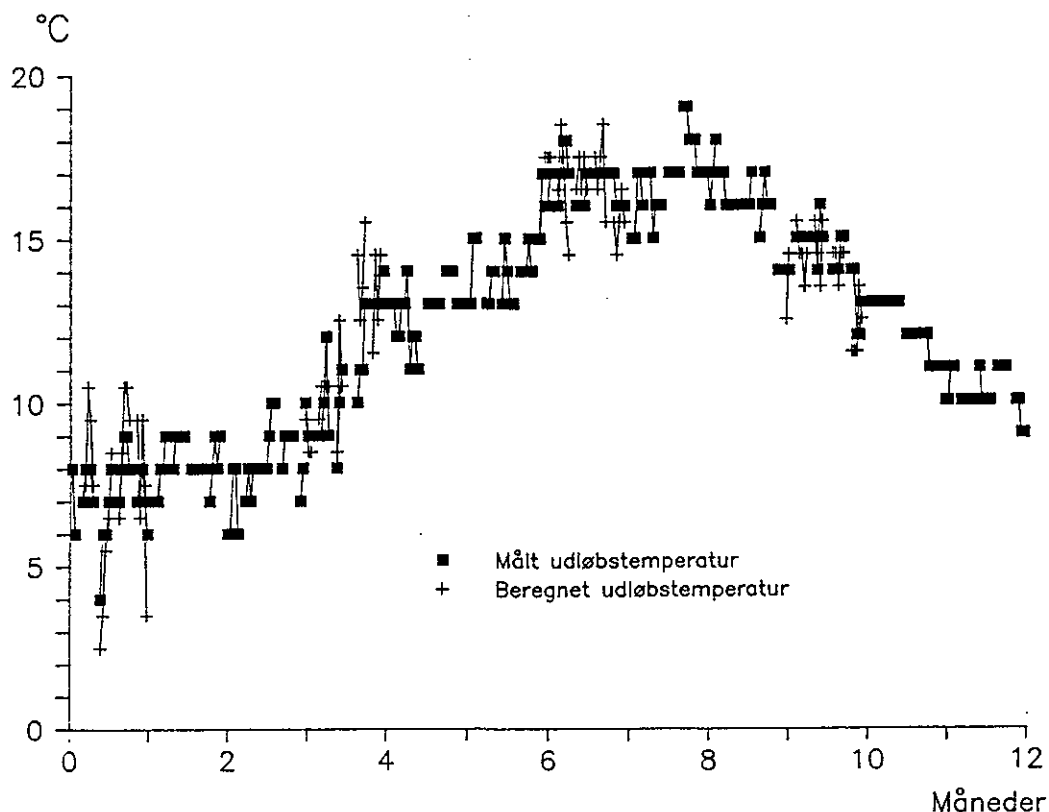
Følgende meteorologiske data er benyttet fra en nærliggende klimastation: Skyethedsforhold, luftfugtighed og vindhastighed. Vanddamptrykket i luften er fundet som produktet af relativ fugtighed og mættet vanddamps tryk ved den aktuelle lufttemperatur.

For Søholt renseanlæg er benyttet konstanterne

$$\begin{aligned} \text{overfladeareal} &= 9.300 \text{ m}^2 \\ \text{COD}_{\text{ind}} &= 350 \text{ g/m}^3 \\ \text{total-N} &= 30 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Da energibalancen er afhængig af anlæggets temperatur, er benyttet en iterativ beregning for at finde frem til den beregnede anlægstemperatur. Som første gæt er anvendt tilløbs-temperaturen. Iterationen er da fortsat, indtil der er opnået en nøjagtighed i beregningen på $0,5^\circ\text{C}$.

Modellen er indledningsvis kalibreret i januar måned ved justering af ruhedsforholdet $(\ln z_1/z_0)^2$. Bedste overensstemmelse blev opnået ved en værdi på 44. Efterfølgende er modellen benyttet til beregning af anlægstemperaturen i en forårsmåned, april, en sommermåned, juli, og en efterårsmåned, oktober. Figur 19 viser målte og beregnede anlægstemperaturer for Søholt renseanlæg.



Figur 19 Målte og beregnede anlægstemperaturer for Søholt renseanlæg, 1987.

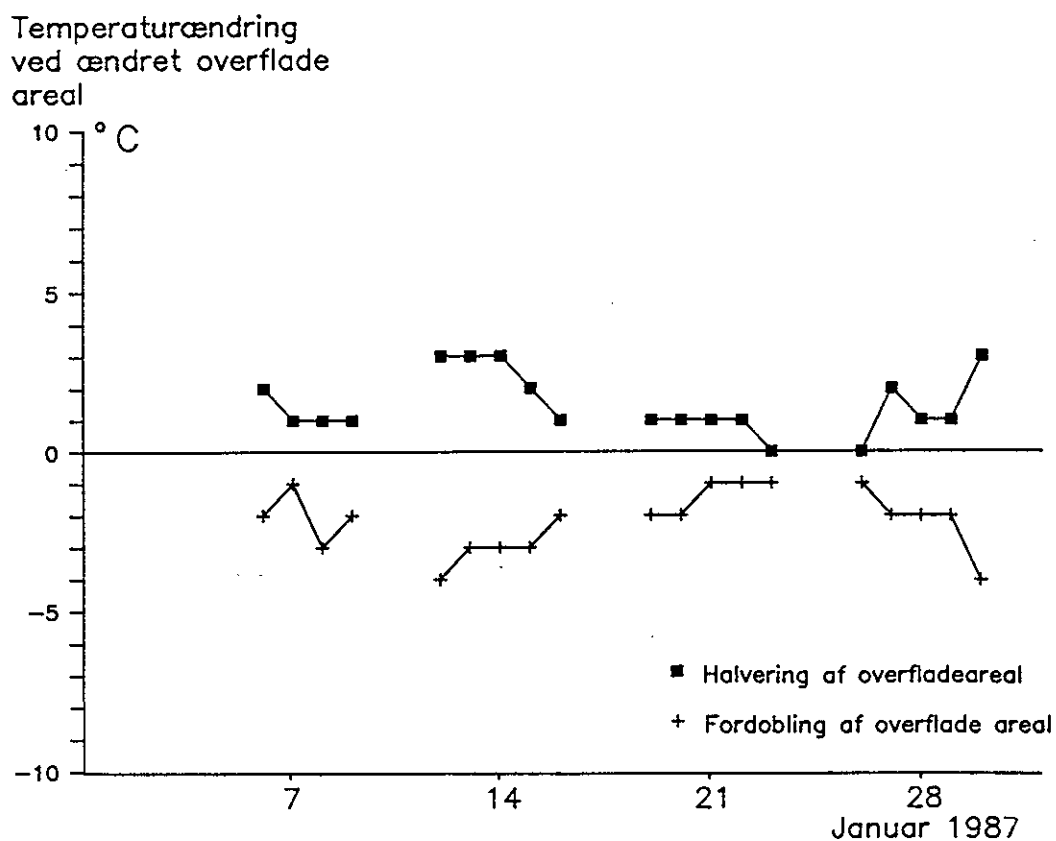
Som det fremgår af figuren, er modellen i stand til at beskrive variationerne i anlægstemperaturen over året. Afvigelserne, der forekommer på enkeltdage, illustrerer modellens følsomhed overfor de meteorologiske data, herunder specielt vindhastigheden ved lave lufttemperaturer. De benyttede meteorologiske data er behæftet med nogen usikkerhed, idet der er målt på en anden (omend nærliggende) lokalitet, og der kan på den baggrund ikke forventes daglig overensstemmelse.

Ved de videre undersøgelser vil modellens anvendelighed til beregning af middeltemperaturer blive inddraget, idet det i høj grad er disse temperaturer, der er interessante i forbindelse med design og dimensionering af renseanlæg.

8. ANLÆGSMÆSSIGE DISPOSITIONER

På basis af sensitivitetsanalysen kan det udledes, at især anlæggets overfladeareal og vindhastigheden er af væsentlig betydning for temperaturfaldet i de kritiske vintermåneder. I det efterfølgende er modellen derfor benyttet til at illustrere konsekvenserne af en ændring af overfladearealet, samt en nedsættelse af vindhastigheden.

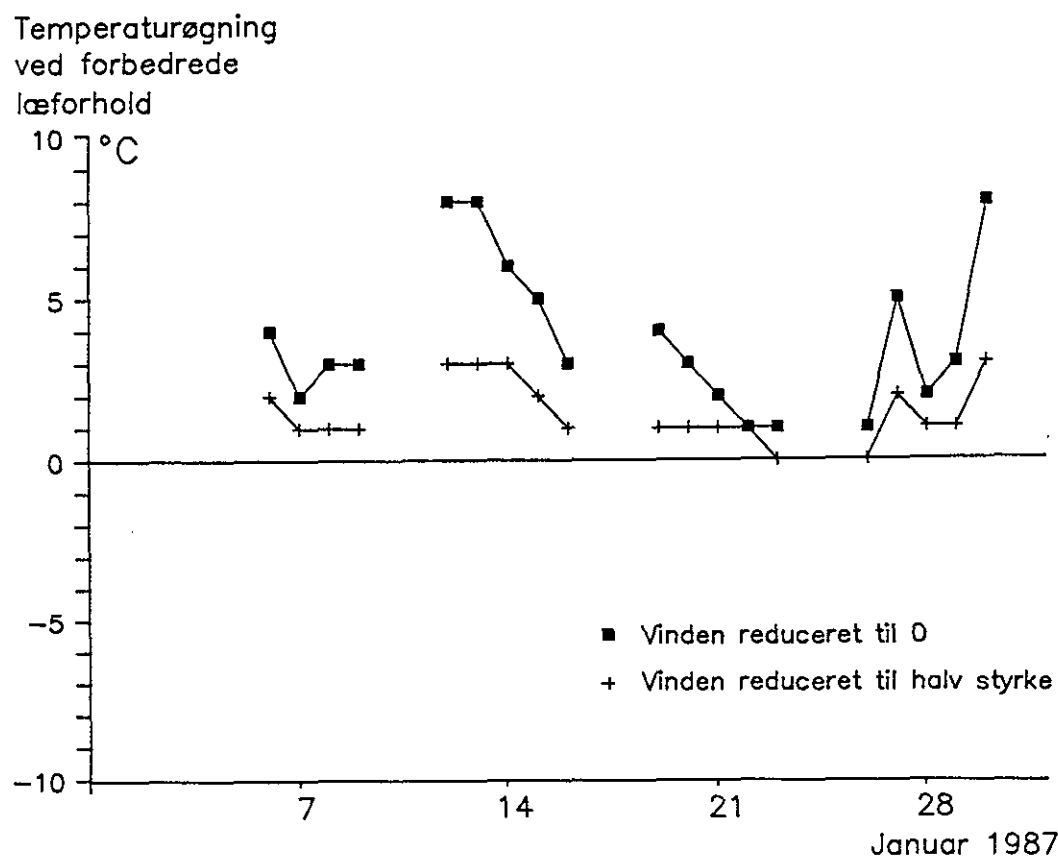
På figur 20 er vist resultatet af henholdsvis en halvering og en fordobling af arealet på Søholt renseanlæg. Figuren viser temperaturændringen i forhold til det eksisterende anlægs påvirkning af temperaturen baseret på data fra januar 1987.



Figur 20 Beregningsmæssig temperaturændring på Søholt renseanlæg ved ændring af anlæggets konstruktive udformning.

Figuren illustrerer, at en halvering af overfladearealet stort set vil betyde en temperaturstigning på et par grader Celcius. En fordobling af overfladearealet vil omvendt medføre et fald i udløbstemperaturen, hvilket vil forværre de i forvejen kritiske forhold om vinteren.

En reduktion af vindens hastighed kan opnås ved gennemførelse af læskabende foranstaltninger. På figur 21 er vist de modellerede konsekvenser af total læ samt en halvering af vindhastigheden for Søholt renseanlæg, januar 1987.



Figur 21 Beregningsmæssige temperaturændringer på Søholt renseanlæg ved ændring af læforhold.

Som det fremgår af figuren, synes der at være betydelige temperaturstigninger at hente i kolde og blæsende perioder ved etablering af læskabende foranstaltninger.

9. KONKLUSION

En undersøgelse af temperaturforholdene på Søholt og Frederikssund renseanlæg viser, at der sker et temperaturfald over anlæggene om vinteren, mens det modsatte gør sig gældende om sommeren.

Til belysning af hvilke faktorer, der har indflydelse på dette forhold, er opstillet en energibalance for et renseanlæg. Overslagsberegninger viser, at netto langbølget stråling, varmeudveksling med jorden, nedbør (direkte på anlægget), og elektrisk energitilførsel ikke vil have væsentlig indflydelse på temperaturen i anlægget. De væsentlige led udgøres af netto kortbølget stråling, fordampning, konvektiv varmeudveksling med luften og procesvarme.

Temperaturmodellen er kalibreret med data fra Søholt renseanlæg, og meteorologiske data fra januar måned 1987. Ved en afprøvning af april-, juli- og oktober måned, blev der opnået god overensstemmelse med de faktiske anlægstemperaturer.

Der er udført sensitivitetsanalyse på de variable parametre. Analysen viste, at overfladearealet, som er en proportionalfaktor i leddene netto kortbølget stråling, fordampning og konvektiv varmeudveksling med luften er af stor betydning for anlægstemperaturen om vinteren. Der synes derfor at være mulighed for at påvirke temperaturen markant i gunstig retning ved at bygge anlæg med et mindre overfladeareal i forhold til volumen. Desuden viste analysen, at vindens hastighed, der indgår som en proportionalfaktor i leddene fordampning og konvektiv varmeudveksling med luften, ligeledes er af stor betydning for anlægstemperaturen. Beregninger viste, at der ved en reduktion i vindhastigheden kan opnås en væsentlig temperaturstigning. Det må derfor tilrådes at skabe gode læforhold omkring anlægget.

REFERENCER

- /1/ Jørgensen, L. og K. Dahlgren Laursen, "Temperaturforhold på danske renselanlæg", Rapport over praktikophold på VKI, Delrapport 2, VKI, juni 1988.
- /2/ Hultman, B., E. Plaza and M. Tenday-Xavier, "Possibilities of Implementing Nitrogen Removal at Swedish Wastewater Treatment Plants ", Swedish Water and Wastewater Works Association (VAV), 1987.
- /3/ Henze, M. og P. Harremoës, "Nitrification and Denitrification in Wastewater Treatment", Water Pollution Microbiology, Vol. 2, Wiley & Sons, 1978.
- /4/ Wilson, E.H., "Engineering Hydrology", McMillan, 1969.
- /5/ Notater til Hydrologiske processer, Institut for Strømningsmekanik og Vandbygning, DTH, 1975.
- /6/ Aslyng, H.C., "Klima, jord og planter", DS forlag, 1976.
- /7/ Rosbjerg, D., "Beregning af potentiel fordampning", Institut for Strømningsmekanik og Vandbygning, DTH, 1987.
- /8/ Snow Hydrology, U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, 1956.
- /9/ Dahi, E., "Principper for stof- og energibalancer ved mikrobiel omsætning", Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DTH, 1984.
- /10/ Vejrdata for VVS og energi, Dansk referenceår, TRY, SBI-rapport 135, Statens Byggeforskningsinstitut, 1982.

BILAG 1

Liste over anvendte symboler

<u>Symbol</u>	<u>Betydning</u>	<u>Værdi</u>	<u>Sædvanlig Enhed</u>
A	areal		m ²
C	Stefan Boltzmanns konstant	5,67 10 ⁻⁸	W/m ² ·K ⁴
COD	kemisk iltforbrug		g/l
c _{pl}	luftens varmekapacitet		J/kg·°C
c _{sne}	snes varmekapacitet	2,1·10 ³	J/kg·°C
c _{pv}	vands varmekapacitet	4186	J/kg·°C
E	energimængde		J/dag
e _l	vanddamptrykket i højden z		mmHg
e _m	mættede dampes tryk		mmHg
e _{om}	mættede dampes tryk ved t _o		mmHg
e _t	luftens total tryk		mmHg
I _o	insolation		J/m ² ·dag
K ₁	konstant	0,18	dim.løs
K ₂	konstant	0,55	dim.løs
L	vands fordampnings- varme		J/kg
l _{sne}	snes smeltevarme		J/kg
N	maksimalt antal solskinstimer		timer/dag
n	aktuelt antal solskinstimer		timer/dag
Q	tilløbsmængde		m ³ /dag
Q _{sne}	sne-mængde		m/dag
Q _v	regnmængde		m/dag
r	albedo		dim.løs
r _a	aerodynamisk modstandstal		s/m

<u>Symbol</u>	<u>Betydning</u>	<u>Værdi</u>	<u>Sædvanlig Enhed</u>
t_1	lufttemperatur		$^{\circ}\text{C}$
t_o	vandoverfladens- temperatur		$^{\circ}\text{C}$
total-N	total kvælstof		g/l
t_u	udløbstemperatur		$^{\circ}\text{C}$
u	vindhastighed		m/s
z_1	højden hvor målinger foretages		m
z_o	ruhedsparameter		m
γ	psykrometerkonstant	0,5	mmHg/ $^{\circ}\text{C}$
κ	Von Karmans konstant	0,4	dim.løs
ρ_l	lufts massefylde	1,5	kg/m ³
ρ_{sne}	snes massefylde		g/cm ³
ρ_v	vands massefylde	1000	kg/m ³
ΔG	Gibb's frie energi		kJ/ee

BILAG 2

Middelværdier for de fire årstider anvendt ved sensitiv-
tetsanalysen.

Vinter : December, januar, februar.

Forår : Marts, april, maj.

Sommer : Juni, juli, august.

Efterår : September, oktober, november.

FAKTOR	Vinter		Forår		Sommer		Efterår	
	middel	max/min	middel	max/min	middel	max/min	middel	max/min
$Q (m^3/dag)$	22000	10000 60000	22000	10000 60000	22000	10000 60000	22000	10000 60000
$t_{ind} (°C)$	10	0 14	12	0 20	15	6 20	14	0 20
$A (m^2)$	9300	4000 18000	9300	4000 18000	9300	4000 18000	9300	4000 18000
$t_l (°C)$	-0,1	-10 8	6,6	-5 20	16,3	10 15	9,3	0 17
$\phi (%)$	91 %	70 % 100 %	83,7%	40 % 100 %	70,5%	40 % 100 %	87,7%	60 % 100 %
$e_l (mmHg)$	4,14		6,12		9,8		7,7	
$u_l (m/s)$	5,3	0 16	5,8	0 16		0 16		0 16
$I_o (kJ/m^2 d)$	7574		28878		36672			14243
r	0,175		0,07		0,05			0,07
n/N	0,18		0,42		0,48			0,44

RAPPORTDATABLAD



Titel:

Dato: juni 1988

Temperaturforhold i danske renseanlæg -
Indledende undersøgelse

Sagsnr.: 6850

Rekvirent:

Vandrensningsrådet

Sagsbehandler:
GHK/JLJ

Afd.:
Teknisk

Sekretær:
MSM

Antal sider:
40

Serie:
-

Delrapport nr.:
-

Geografisk område:

Aktivitetsområde:
61

Forskningsrapport : X

Forhandles af :

Rekvireret rapport :

DATABLAD

VKI

Ikke fortrolig : X

Ikke fortroligt : X

Fortrolig :

Fortroligt :

Indtil :

Nøgleord, MDS:

Aktiveret slam anlæg
Nitrifikation
Temperatur
Model

Keywords, MDS:

Frie nøgleord: