



[Klimakampen 2010]



Klimaændringer i Aalborg

Temperaturen i Danmark er steget med halvanden grad siden 1873. I samme periode er nedbøren steget med 15 %, og vindforhold og vandstande har også ændret sig. Den globale gennemsnitstemperatur er de sidste 100 år steget med ca. 0,74 °C.

Hovedparten af denne globale opvarmning skyldes menneskers aktiviteter. Især udslip af CO₂ fra afbrænding af kul, olie og gas, men også fældning af skove og udslip af andre drivhusgasser. Hvor meget klimaet vil ændre sig i fremtiden og hvordan det vil påvirke os, afhænger af, hvor mange drivhusgasser, vi sender ud i atmosfæren og hvordan vi er i stand til at tilpasse os og vores byer til klimaeffekterne.

Dette notat er skrevet af:

- Medarbejdere fra Sektionen for Vand og Jord ved Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet, hvor specielt PhD-studerende Jesper Ellerbæk Nielsen har ydet en stor indsats,
- Christian Fisker, Nørresundby Gymnasium, og
- en række medarbejdere fra miljøtekniske ingeniørvirksomheder i Aalborg.

Indhold

1	FORORD	5
2	INTEGRATION AF MILJØDAGENS AKTIVITETER I GYMNASIEUNDERVISNINGEN	7
3	DET GLOBALE KLIMA	9
3.1	DRIVHUSEFFEKTEN OG DRIVHUSGASSERNE	9
	Menneskeskabt drivhuseffekt	10
	Afbrænding af regnskov.....	11
	3.1.1 <i>Drivhusgasser</i>	11
	Metan fra rismarker og kvæg	11
	CFC-gasser	11
	Lattergas	12
	Kuldioxid - den store synder	12
3.2	ÆNDRINGER I JORDENS KLIMA OG NATUR	13
	Udsatte økosystemer	13
	Tab af biologisk mangfoldighed	13
	Eksempler på ændringer i naturen	14
3.3	FREMTIDENS KLIMA – IPPC'S KLIMARAPPORT	15
	Grundlag for scenarierne	15
	3.3.1 <i>Klimapanelets scenariemodeller</i>	15
	3.3.2 <i>Klimarapportens hovedpunkter</i>	16
3.4	INTERNATIONALT KLIMASAMARBEJDE	17
	3.4.1 <i>Klimakonventionen og Kyotoaftalen</i>	17
	Klimakonventionen	17
	Kyotoaftalen	18
4	DANMARKS FREMTIDIGE KLIMA	21
	Frem til 2050.....	21
	Klimaændringer på længere sigt.....	22
	Mere ekstremt vejr	23
	Havniveau	23
5	KLIMAÆNDRINGERNES BETYDNING I AALBORG	25
	Aalborg Kommunes mål for Klima:	25
5.1	KOMMUNENS STRATEGI OG INDSATS.....	26
	Reduktion af drivhusgasser.....	26
	Klimatilpasning i Aalborg kommune	26
	5.1.1 <i>Aalborg kommunes indsats på klimaområdet</i>	27
6	INGENIØRMÆSSIGE UDFORDRINGER	29
	Afløbstekniske problemer.....	29
	Belastning af nærrecipienterne	30
	Grundvandsbeskyttelse	31
7	OPGAVER	33
	OPGAVE 1: Nedsivning af regnvand på det tidligere godsbaneareal i Aalborg?	34
	OPGAVE 2: Fra spildevand til drikkevand.....	35
	OPGAVE 3: Udledning af spildevand til Limfjorden.....	38
	OPGAVE 4: Afledning af regnvand	39
	OPGAVE 5: Lokal nedsivning af regnvand (LAR).....	42
	OPGAVE 6: Blomsterskrænten 32, Nørresundby	44
	OPGAVE 7: Indlandsisen smelter	47
	OPGAVE 8: Regnvandsbassiner	48
	OPGAVE 9: Grundvandsforurening	50
8	REFERENCER	55

1 Forord

Den 9. december 2010 skal der afvikles en MILJØDAG i Aalborg, hvor det er hensigten, at én 2.g. gymnasieklasse fra hvert af de 4 gymnasier i Aalborg, Hasseris, Nørresundby, Aalborghus, Katedralskolen, sammen med en tilsvarende HTX-klasse fra Aalborg Tekniske Gymnasium skal konkurrere mod hinanden ved i november måned – og på selve dagen – at løse relevante og interessante opgaver under temaet KLIMAÆNDRINGER I AALBORG.

Det er tanken, at MILJØDAG i Aalborg skal være medvirkende til, at bringe noget så vigtigt som det nationale vandmiljø mere i fokus i den almene samfundsmæssige debat, og i den forbindelse belyse de store opgaver, der i fremtiden - under indflydelse af de varslede klimaændringer - skal løses for at gøre vandmiljøet bedre end det er i dag.

Via denne begivenhed håber arrangørerne, at bringe det nationale og lokale vandmiljø i fokus, herunder at gøre opmærksom på de mange spændende opgaver, der skal løses på dette område, således at Danmark og Aalborg i de kommende år kan råde over rent grundvand samt rent vand i åer, søer, fjorde og indre farvande. Et sådan mål kræver en målrettet politisk, samfundsmæssig, og ikke mindst ingeniørmæssig indsats, der skal sikre, at vi og vores omgivelser sundhedsmæssigt har det godt.

Fagligt og økonomisk har Miljødagen opbakning fra Aalborg kommune, Kloak A/S, samt fra de lokale afdelinger af en række af Danmarks førende ingeniørvirksomheder: COWI, Envidan, Grontmij|Carl Bro, Krüger, Moe & Brødsgaard, NIRAS, Orbicon samt Rambøll, der alle agerer som sponsorer for konkurrencen, hvis **vinder kan se frem til en præmie på kr. 25.000.**

Også Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg, har på flere måder støttet op omkring begivenheden. Blandt andet for at gøre opmærksom på AAU's velrenommerede ingeniøruddannelse inden for Vand & Miljø, som gennem flere år har uddannet diplom- og civilingeniører med kvalifikationer, der på det vandmiljøtekniske område – både nationalt og internationalt - placerer dem blandt de førende på området.

Det er arrangørernes håb, at unge mennesker på tærsklen til en videregående uddannelse får øjnene op for nogle presserende, interessante opgaver, der ligger klar til at blive løst af dem - efter et ligeså interessant studieforløb, der eksempelvis kan gennemføres på det lokale universitet.

Før selve Miljødagen skal der i november måned 2010 afvikles et fagligt forløb på hvert gymnasium, organiseret efter følgende plan:

- I samspil med undervisningen i matematik, fysik, kemi, biologi og naturgeografi skal de deltagende klasser arbejde med - og løse - én af de opgaver, der er indeholdt i dette notats afsnit 7.
- Hver klasse vælger frit, hvilken opgave de ønsker at arbejde med.
- Overordnet bør den enkelte gymnasieklasse forholde sig til de varslede klimaændringer. Mange af de efterfølgende figurer i dette notat indeholder således kun data op til år 2000. Man bør derfor forsøge at indhente nyere data, som belyser, hvordan det er gået siden omtalte figurer fremkom. Denne generelle del af opgavebesvarelsen er medtaget for at få de deltagende gymnasielever til at tage stilling til, om klimaet udvikler sig som varslet - eller om klimaændrings-skeptikerne har ret?

Gode links i denne forbindelse:

<http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/ipcc-2.htm>,

<http://flood.firetree.net/>,

<http://lokalavisen.dk/huset-oedelagt-for-anden-gang-paa-tre-aar/20100815/artikler/706099917/1799/lojgbm>.

- Herudover skal opgavebesvarelsen indeholde en specifik løsning på det problem, der er indeholdt i den valgte opgave.
- Opgavebesvarelsen, der skal foreligge sidst i november måned 2010, skal være både skriftlig og mundtlig, idet besvarelsen skal kunne præsenteres i en større forsamling vha. PowerPoint.
- Det enkelte gymnasium arrangerer selv, hvordan det skal afgøres, hvilken af de indleverede opgavebesvarelser, der er bedst, og dermed hvilken gymnasieklasse, der skal repræsentere gymnasiet på selve Miljødagen, d. 9.12.2010.
- Alle elever fra den vindende gymnasieklasse deltager i Miljødagen, men 5 elever udpeges til at repræsentere klassen i dagens aktiviteter.
- Det står de vindende klasser frit for, at placere deres vinderbesvarelse på en til formålet oprettet webportal, så alle Miljødagens deltagere kan læse samtlige vinderbesvarelser igennem før d. 9.12.

Programmet for afviklingen af Miljødag 2010 er i øjeblikket under udarbejdelse. Foreløbig ligger det fast, at dagen skal starte med, at de deltagende gymnasieklasser – via en PowerPoint-præsentation – præsenterer deres vinderbesvarelser for hinanden.

Aalborg, oktober 2010.

2 Integration af Miljødagens aktiviteter i gymnasieundervisningen

Christian Fisker, Nørresundby gymnasium, har nedenfor beskrevet hvilke muligheder, der efter hans mening vil være for at integrere de aktiviteter, der vil være forbundet med afviklingen af selve Miljødagen samt tiden op mod denne, i den daglige gymnasieundervisning:

Dette Miljø-temahæfte rummer et komplet undervisningsforløb, med en afsluttende Miljødag for eleverne, hvor de skal præsentere deres arbejde for elever fra andre Aalborg-gymnasier.

Miljø-temahæftet, med det tilhørende materiale og problem-opgaver, er designet så det giver rig mulighed for at arbejde med den naturvidenskabelige metode i relation til nogle konkrete problemstillinger for Aalborg og det nordjyske nærområde. Eleverne får et konkret kendskab til nogle af de naturvidenskabelige problemstillinger der dagligt opstår i lokalsamfundet, og de får mulighed for selv at arbejde med at løse dem. Opgaverne har både en praktisk dimension hvor eleverne skal "ud og undersøge", og en teoretisk hvor modellering og matematik kan inddrages. Ved den afsluttende Miljø-Dag skal eleverne konkurrere mod de andre nordjyske gymnasier i nogle øvelser, der er udformet af forskellige ingeniørvirksomheder i Aalborg. Her får de et indblik i virksomhedernes arbejde og oplever, at det de har lært rent faktisk kan bruges, og bliver brugt, i samfundet.

Tema-arbejdet lægger derfor direkte op til stx-bekendtgørelsens kap. 1, § 4, hvor der står at "*Eleverne skal derfor lære at **forholde sig reflekterende og ansvarligt til deres omverden: medmennesker, natur og samfund**, og til deres egen udvikling. Uddannelsen skal tillige **udvikle elevernes kreative og innovative evner og deres kritiske sans.***" De deltagende elevers merarbejde i forbindelse med miljødagen, vil kunne høre under kap. 3, § 44, om "*særlige tilbud til elever med **særlige talenter***" hvor "*skolen kan tilbyde elever i uddannelsen studiekredse*" og bevillige timer hertil.

For alle **naturvidenskabelige fag**, vil et forløb baseret på Miljø-temaet træne *den naturvidenskabelige metode, elevernes evne til at modellere*, og til at *forholde sig både kvalitativt og kvantitativt til observationer*. Behandlet i et tværfagligt forløb, vil det foreliggende materiale give eleverne et indblik i hvordan de naturvidenskabelige fag spiller sammen og i fællesskab behandler virkeligheden omkring os. Arbejdet åbner videre op for at diskutere "*klimaændringer i samfundet*" og formidle denne viden ved brug af forskellige medier, så **på tværs af fakulteter** vil det nemt kunne tilpasses et AT forløb.

Hvis forløbet laves i **fysik**, vil det være oplagt at tage som supplerende stof, med henblik på at arbejde med faglige mål som at eleverne skal "*kunne tilrettelægge, beskrive og udføre fysiske eksperimenter til undersøgelse af en åben problemstilling*", samt "*kunne perspektivere fysikkens bidrag til såvel forståelse af naturfænomener som teknologi- og samfundsudvikling*". Den afsluttende formidlingsopgave dækker desuden målet om at "*kunne formidle et emne med et fysikfagligt indhold til en valgt målgruppe*". I samarbejde med matematik eller et andet naturvidenskabeligt fag vil eleverne ligeledes kunne styrke deres modeller og metoder, samt behandle klimaspørgsmålet i en bredere optik.

Laves forløbet i **kemi**, er der rig mulighed for at arbejde med kernestoffets hovedemner, som "*den organiske og uorganiske kemi*", samt "*kemiske reaktioner*" i miljøproblematikken. Eleverne berører de faglige mål om at skulle "*forholde sig til kemiske problemstillinger fra hverdagen*"

og den aktuelle debat" med mulighed for at bruge den "faglige viden både i forhold til faget selv og i samspillet med andre fag". I et fagsamarbejde om forløbet vil eleverne skulle "forholde sig reflekterende og ansvarligt til aktuelle problemstillinger med naturvidenskabeligt indhold", og op til miljødagen vil der være grundlag for at "formidle kemisk viden såvel skriftligt som mundtligt i både fagsprog og dagligsprog".

I **naturgeografi** dækkes kernestoffets emner som *Klima og Klimaændringer* samt *Vand og vandressourcer*. De faglige mål om at eleverne skal kunne "indkredse væsentlige geofaglige problemstillinger og anvende problemformuleringer i analysen af naturen og menneskets omgivelser", samt "analysere og vurdere geofaglige problemstillinger i en bredere samfundsmæssig sammenhæng og udnytte geofaglig viden sammen med viden og kompetencer opnået i andre fag" bliver ligeledes behandlet. Et fag-samarbejde, f.eks. med matematik, samfundsfag eller et andet naturvidenskabeligt fag, vil let kunne bidrage til en bredere forståelse af problemløsningen.

I **biologi** optræder emner fra kernestoffet som "økologi" og de supplerende "principper for bæredygtig udvikling". Eleverne skal desuden arbejde med faglige mål, som at "opsøge og vurdere information vedrørende miljø" og bruge det som grundlag for en "stillingtagen og handlen i forbindelse med egne og samfundsmæssige problemstillinger med biologisk indhold". Den åbne problemstilling giver mulighed for at "gennemføre selvstændige observationer og undersøgelser og tilrettelægge eksperimenter såvel i laboratoriet som i felten", og det resulterende arbejde skal præsenteres i gennem "skriftlig og mundtlig formidling".

3 Det Globale Klima

Verdens energiforbrug er steget med en faktor 10 op gennem det 20. århundrede, og det stiger fortsat. Langt hovedparten af energien produceres ved at afbrænde olie og kul, som derved bliver til kuldioxid. Indholdet af kuldioxid i atmosfæren er derfor også steget støt, og det fører til drivhuseffekt og ændringer i det globale klima.

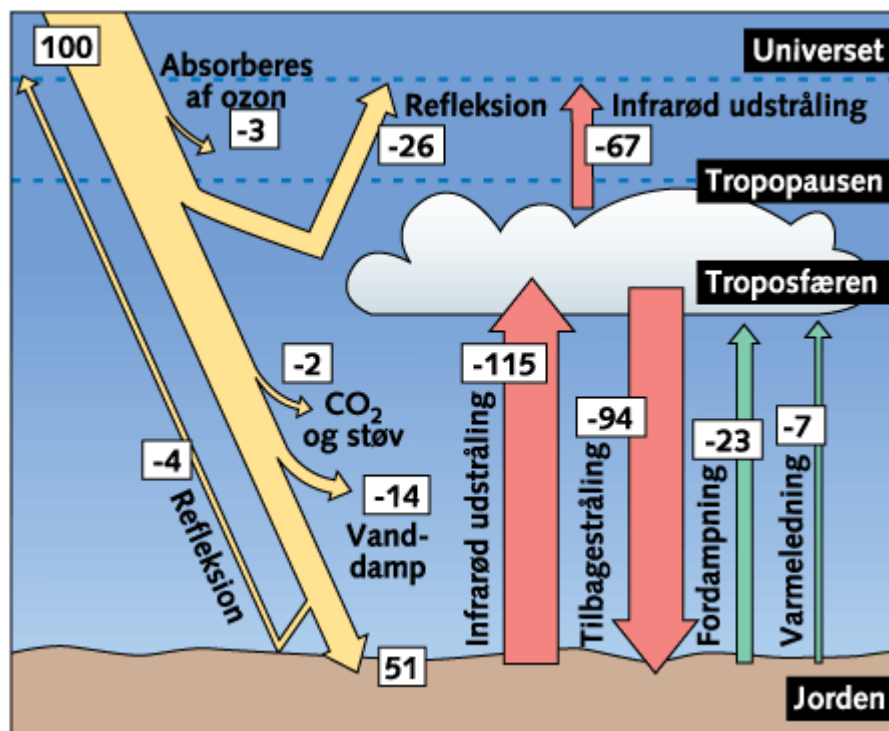
Om 90 år er den globale middeltemperatur steget med tre grader. Klimaet i Danmark er blevet mildere, og store dele af landbruget satser på vindyrkning og majs. I Nordafrika har det ikke regnet i årevis mens man i Bangladesh og Indien slås med oversvømmelse som følge af kraftigere monsunregn og øget vandstand i verdenshavet. Strømmen af miljøflygtninge er enorm og presser verdenssamfundet.

Virkelighed eller fantasi, ingen kender det præcise svar på klimaet om 90 år, men ovenstående scenarie er ikke urealistisk, så længe verdens energiforbrug fortsat stiger.

3.1 Drivhuseffekten og drivhusgasserne

Uddrag fra globalemiljoe.dk, dmi.dk og IPCC's klimarapport 2007

I atmosfæren virker kuldioxid som glasset i et drivhus: Sollyset slipper ind mens varmen kun vanskeligt slipper ud. Sollys består af kortbølgede stråler som nemt passerer gennem de forskellige luftarter i atmosfæren for til sidst at ramme jordens overflade. Derved opvarmes jorden og udsender varmestråler tilbage til atmosfæren – jf. nedenstående figur.



Jorden modtager hele tiden energi fra Solen, i gennemsnit over hele Jorden 342 Watt pr. m². Noget af solstrålingen (ca. 30%) kastes tilbage til verdensrummet fra skyerne, luften og Jordens overflade, 20%

absorberes af atmosfæren og resten – ca. 50% – absorberes af land og oceaner, som derved varmes op - se nedenstående figur. Man kan sige, at en stor del af Solens strålingsenergi omdannes til varmeenergi.

Jordoverfladen slipper af med varmen gennem varmestråling til atmosfæren og til verdensrummet. I atmosfæren absorberes varmestrålingen af skyerne og af forskellige gasser, især vanddamp og kuldioxid. Når varmestrålingen fra jordoverfladen absorberes af skyer og gasser, varmes atmosfæren op.

Atmosfæren slipper af med sin varme ved, at skyerne og gasserne udsender varmestråling, både opad og ned mod jordoverfladen, som derved får varmestråling retur. Gasserne virker derfor som en slags isolerende lag, der lader Solens stråler komme ind og forhindrer varmen i at slippe ud. Selv om det ikke er de samme fysiske processer, der gør drivhuset og atmosfæren varme, har denne egenskab ved atmosfæren fået navnet drivhuseffekten, og de gasser, der er årsag til den, kaldes drivhusgasser. Uden drivhuseffekten ville jordoverfladens temperatur alt andet lige være ca. 33°C koldere, end den er, dvs. -19°C i stedet for +14°C, og Jorden ville ikke have liv i den form, vi kender.

De vigtigste drivhusgasser er vanddamp og kuldioxid, men også metan, lattergas, ozon og halocarboner har betydning.

Som det fremgår af ovenstående figur er atmosfærens temperatur globalt set resultat af en kompliceret balance. For et stabilt klima er der balance mellem på den ene side energien i den indkommende solstråling og på den anden side den del af solstrålingen, der sendes tilbage til verdensrummet af jordoverfladen og atmosfæren, samt den varmestråling, der sendes ud til verdensrummet.

Balancen mellem energien i den indkommende og den udsendte stråling gælder som gennemsnit for hele Jorden, men for de enkelte steder vil der være stor forskel. Området omkring ækvator fra 40S til 40N modtager for eksempel mere energi end det tilbagesender – og tilsvarende modtager højere breddegrader mindre energi fra Solen, end de udsender. Det skyldes, at Solens stråler altid rammer mere lige ned omkring ækvator end på højere breddegrader.

Resultatet af disse forskelle er, at der vil være overskud af energi i området omkring ækvator, og dermed ske en opvarmning her, og et lige så stort underskud over resten af Jorden, med en afkøling til følge. Denne opvarmning og afkøling er årsag til vinde i atmosfæren og strømninger i oceanerne. Vindene medvirker til transport af varme og dermed energi fra ækvator mod polerne, og også oceanerne transporterer varme mod polerne. For eksempel betyder Golfstrømmen og den Nordatlantiske Strøm, at klimaet i Nordvesteuropa er noget varmere end på tilsvarende breddegrader andre steder.

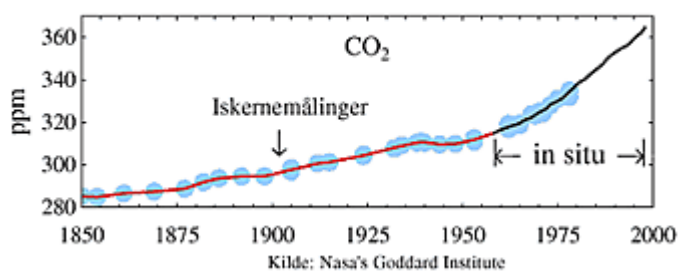


Hvis der ikke blev transporteret energi i atmosfæren og oceanerne fra ækvator mod polerne, ville temperaturforskellen mellem ækvator og polerne vokse, indtil der hvert sted var balance mellem energien i indstrålingen og i den udsendte varmestråling. Det globale klima bliver altså dannet gennem en tæt sammenhæng mellem solens energitilførsel og energitransporten i atmosfæren og klodens have.

Menneskeskabt drivhuseffekt

Den menneskeskabte drivhuseffekt skyldes vores store forbrug af fossile brændsler til energiproduktion, dvs. kul, olie og naturgas eller afledte produkter heraf som benzin og petroleum. I Danmark kom cirka 85 % af vores energiproduktion i 2005 herfra, mens resten kommer fra især

Koncentrationen af kuldioxid i atmosfæren fra 1850 til nu



vindenergi og biobrændsel. Når olie og kul brænder bliver det til kuldioxid og vand. Dermed stiger mængden af kuldioxid i atmosfæren og drivhuseffekten øges med varmere klima til følge. Mængden af kuldioxid i atmosfæren stiger i dag hurtigere end nogensinde (se ovenstående figur), så koncentrationen i 2007 er oppe på 382 ppm (parts per million, dvs. en milliontedel) mod 300 ppm for 100 år siden. I perioden 1995 til 2005 har den gennemsnitlige årlige stigning været 1,9 ppm mens den var 1,4 ppm i perioden 1960-2005 (kilde: IPCC 2007).

Afbrænding af regnskov

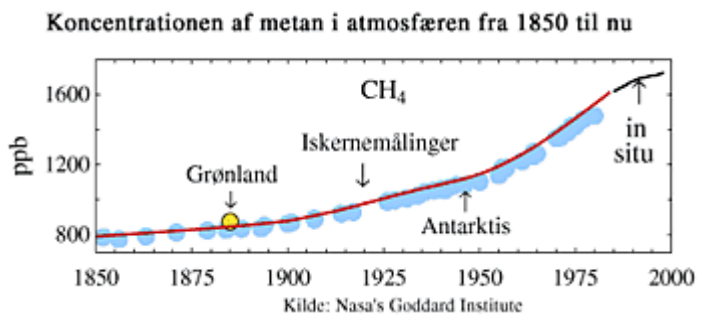
En anden årsag til den stigende mængde kuldioxid i atmosfæren er afbrænding af regnskovsområder. Store områder af tropisk regnskov er op gennem det 20. århundrede blevet fældet og brændt for at give plads til landbrugsjord og kvægdrift. Når regnskoven fældes eller afbrændes, bliver der frigivet store mængder kuldioxid, som har været bundet i skovens biomasse. Miljøforskere anslår, at ca. 20% af den øgede mængde kuldioxid i atmosfæren stammer fra regnskovstræ som er gået op i flammer.

3.1.1 Drivhusgasser

Kuldioxid er som beskrevet ikke det eneste stof i atmosfæren som absorberer jordens varmestråler og dermed giver drivhuseffekt. Stoffer som metan, kvælstofoxider og CFC-gasser (Chlor Fluorhydrogen Carboner) gør det også. Faktisk har de en langt højere absorptionsevne end kuldioxid. Men da de udledte mængder er langt mindre, bliver det samlede bidrag mindre.

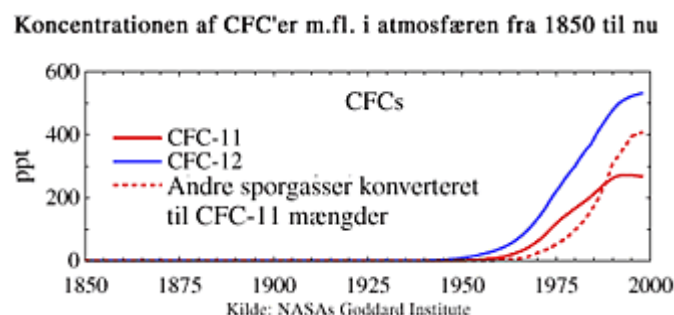
Metan fra rismarker og kvæg

Størst betydning har metan som bidrager med cirka 20% af den menneskeskabte drivhuseffekt. Metan stammer især fra rismarker og kvægbrug hvor det opstår som følge af henholdsvis gæringsprocesser i rismarkernes iltfrie mudder og i koens vom. En anden vigtig årsag er lækager i de ofte flere tusinde kilometer lange naturgasrør som især Rusland har, men ikke altid får vedligeholdt.



CFC-gasser

CFC-gasserne er mest kendt for deres kedelige evne til at nedbryde indholdet af ozon i den øverste del af atmosfæren som beskytter os mod solens ultraviolette lys. Men CFC-gasser absorberer også varmestråler ca. 4.000 gange så effektivt som kuldioxid. Det forholdsvis lille indhold af CFC i atmosfæren er derfor årsag til ca. 14% af den samlede drivhuseffekt. CFC-gasser stammer især fra gamle køleskabe, brugen af sprayflasker og produktion af isoleringsmaterialer.

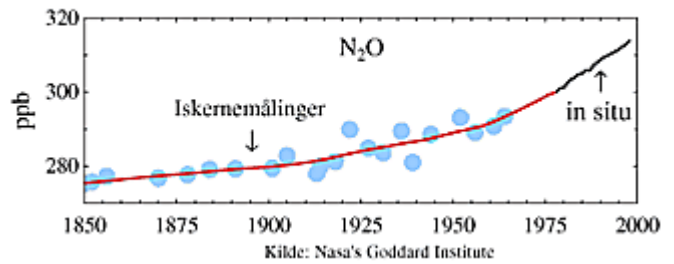


I dag er det forbudt at anvende CFC-gasser, og forbruget på verdensplan er da også faldet drastisk. Desværre har CFC-gasser en meget lang levetid som gør, at stofferne i lang tid vil medvirke til både drivhuseffekt og et tyndere ozonlag. Desuden er nogle af erstatningsstofferne for CFC, de såkaldte HCFC-stoffer, ikke uden problemer. Ganske vist nedbryder de kun i begrænset omfang ozonlaget, men også de har en betydelig drivhuseffekt.

Lattergas

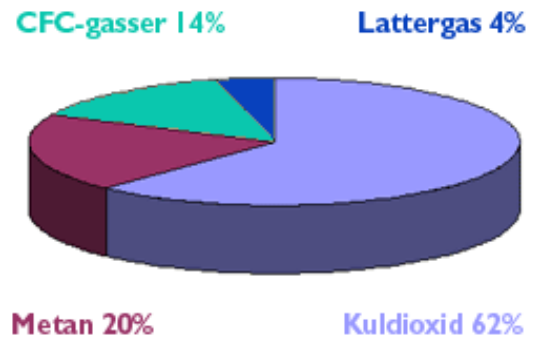
En sidste drivhusgas af betydning er lattergas som står for ca. 4% af den samlede drivhuseffekt. Lattergas (N_2O) forekommer naturligt, men mængden i atmosfæren er stigende som følge af vores brug af kunstgødning og afbrænding af fossilt brændsel ved lav temperatur.

Koncentration af lattergas i atmosfæren fra 1850 til nu



Kuldioxid - den store synder

Der er ingen tvivl om at en løsning på den tiltagende drivhuseffekt først og fremmest handler om at begrænse afbrændingen af fossilt brændstof og dermed mindske CO_2 -udslippet. Både fordi langt det største bidrag kommer herfra, og fordi udslippet vil stige kraftigt de kommende årtier hvis udviklingen fortsætter. Det betyder, at CO_2 -udslippet formentlig vil komme til at udgøre ca. 75% af det samlede udslip af drivhusgasser i løbet af de kommende årtier mod de nuværende ca. 60%. Det ellers naturlige og normalt harmløse stof kuldioxid har altså hovedrollen i det store spil om drivhuseffekt, klimaforandringer, energiforbrug og udvikling i fremtiden.



3.2 Ændringer i jordens klima og natur

Uddrag fra *dmi.dk*, *mst.dk*, *globalemiljoe.dk*, *bbc.co.uk* og *klimatilpasning.dk*

Klimaet har forandret sig de seneste par hundrede år - både på kloden generelt og i Danmark, Grønland og på Færøerne. Denne udvikling er helt central, hvis vi vil vide, hvordan vi som mennesker påvirker klimaet.

Hvis vi vil vide, om vi ændrer klimaet, så må vi vide, hvor meget det ændrer sig af sig selv. Det er en af grundene til, at gamle vejr-data er så værdifulde.

De ældste direkte temperaturmålinger er fra 16-1700-tallet, men først fra ca. 1860 er der pålidelige målinger, som dækker hele kloden.

Information om klimaet længere tilbage får vi fra træringe og koraller samt borekerner i søer, moser, ocea-ner og iskapper.

Forskning i jordens klima viser at det op gennem det 20. århundrede har ændret sig på følgende måder:

- Øget temperatur - i gennemsnit på 0,74 grader
- Mere nedbør og flere kraftigere regnskyl
- Flere tørkeperioder i dele af Asien og Afrika
- Flere perioder med ekstrem varme
- 40% tyndere havis i Arktis om sommeren
- Øget global vandstand på 0,17 meter

Men det er kun begyndelsen. FN's klimapanel forudsiger at temperaturen vil stige med mellem 1,1 og 6,4 grader C frem til år 2095 i forhold til 1999, afhængig af hvilket fremtidsscenario, der bliver til virkelighed.

Overalt på kloden vil naturen forandre sig i takt med at temperaturen stiger med forventet 3 grader C frem til år 2100 og andre klimaforandringer slår igennem som følge af drivhuseffekten. Dyr og planter er nøje tilpasset klimabetingelserne. Øget varme giver ændret plantedække, som giver ændrede levesteder og fødegrundlag for insekter, fugle og større dyr. Nogle arter vil gå tilbage og måske uddø. Andre vil brede sig til nye områder og få et større udbredelsesområde.

Udsatte Økosystemer

Visse natursystemer er særligt udsatte fx koralrev, atoller, mangroveskove, Antarktis og de arktiske egne. Navnlig i de arktiske egne må man forvente dramatiske forandringer som følge af, at temperaturstigningerne her forventes at blive større end i noget andet landområder, og fordi dyr og planter her - med deres enestående tilpasningsevne til ekstreme levesteder - er meget sårbare over for forandringer. Isbjørnen er fx i tilbagegang som følge af at store is områder smelter.

Tab af biologisk mangfoldighed

Flere steder på jorden har naturforskere allerede iagttaget forskellige forandringer som følge af klimaændringer. Det drejer sig fx om tidligere løvspring, insekter som er på vingerne før de plejer, tidligere æglægning hos fugle og om arter, som er gået tilbage, mens andre er vundet frem. Kort sagt naturen er under forandring, og samlet set må man forvente et tab af biologisk mangfoldighed.

Eksempler på ændringer i naturen



Billedet til venstre fra 1859 viser randen af Rhone gletsjeren i Valais, Schweiz, som fylder dalen med is. I 2001 var gletsjeren skrumpet med ca. 2,5 km, og dens rand havde flyttet omkring 450 meter højere op.



Træ biller har i dette tilfælde sandsynligvis draget fordel af et varmere klima og har formeret sig i stadig stigende antal.

Disse billeder viser skader på grantræer i Alaska forårsaget af skadedyr.



Et varmere klima vil udløse flere voldsomme storme, med øget kysterrosion som resultat. Billederne viser en del af kystlinjen ved Cape Hatteras i North Carolina i USA.

Det sydlige USA og Caribien blev ramt af en række af kraftige orkaner i 2004. Herudover forventes stigende vandstand også at fremskynde kysterrosion.

[www. .worldviewofglobalwarming.org](http://www.worldviewofglobalwarming.org)

3.3 Fremtidens klima – IPCC's klimarapport

Uddrag fra Klimatilpasning.dk, dmi.dk, globalemiljoe.dk og IPCC's klimarapport 2007

IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) blev nedsat i 1988 af FN for at undersøge drivhuseffektens betydning på det globale klima. Til panelet er knyttet flere tusinde miljø- og klimaforskere fra både i- og u-lande samt repræsentanter for både miljøorganisationer og fx olieindustrien. I 2007 udgav IPCC sin fjerde rapport i tre dele på i alt flere tusinde sider. De tre dele omhandler: Observerede og forventede klimaforandringer, konsekvenser af klimaforandringer for mennesker og natur samt muligheder for at begrænse ødelæggelserne gennem fx omlægning af verdens energiforsyning. Et overskueligt sammendrag af rapportens væsentlige konklusioner kan findes på DMI's hjemmeside:

<http://www.dmi.dk/dmi/syrspmdkweb.pdf>

FN's klimapanel, IPCC forudsiger en global temperaturstigning på mellem 1,1 og 6,4 grader Celsius frem mod år 2100. Det vil få alvorlige konsekvenser for mennesker og natur, afhængigt af hvor voldsom temperaturstigningen bliver. Grunden til den store usikkerhed på temperaturstigningen skyldes, at klimapanelet arbejder med forskellige såkaldte scenarier (fremtidsbilleder) for udviklingen i verdens energiforsyning og forbrug.

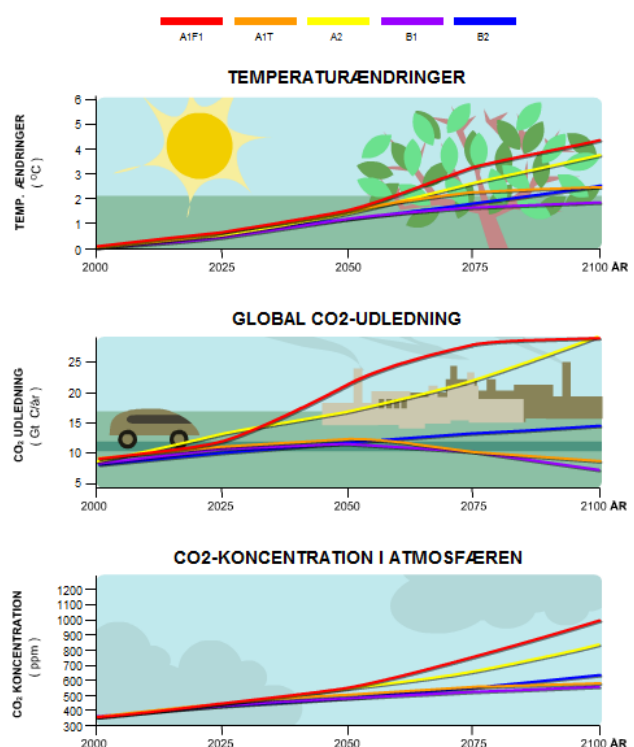
Grundlag for scenarierne

Ved fastlæggelsen af de forskellige scenarier har FN's klimapanel forudsagt forskellige tal for befolkningstilvækst, økonomisk vækst, teknologisk udvikling og energiforsyning i verdens lande og på den baggrund beregnet verdens forbrug af fossile brændstoffer. Herefter har klimaforskerne med en vis usikkerhed kunne beregne stigningen af kuldioxid i atmosfærens og den heraf følgende temperaturstigning. På den baggrund er klimapanelet nået frem til at temperaturen vil stige mellem 1,1 og 6,4 grader og mest sandsynlig mellem 2 og 4 grader afhængigt af hvilke scenarier som bliver til virkelighed.

3.3.1 Klimapanelets scenariemodeller

IPCC-scenarierapporten indeholder fire hovedgrupper af udslips scenarier, som tilsammen viser en stor variation i de globale udslip. De fire hovedgrupper, som betegnes A1, A2, B1 og B2, bygger på fire forskellige sammenhængende sæt af forudsætninger.

- A1-scenarierne bygger på et fremtidsbillede karakteriseret ved høj økonomisk vækst, lav befolkningstilvækst og hurtig introduktion af effektive teknologier, der medfører lavt drivhusgasudslip. Scenarierne forudsætter også en globalisering af økonomierne og stor indkomstudjævning mellem regionerne. A1-scenariefamilien forgrener sig i tre grupper, som beskriver forskellige teknologiske udviklinger i energisystemet. Man kan skelne mellem de tre A1-grupper på basis af teknologi: fossil intensiv (A1FI), ikke-fossile energikilder (A1T) eller ligevægt mellem alle kilder (A1B). Samlet er resultatet i A1-scenarierne høj økonomisk vækst og en meget forskellig udvikling i drivhusgasudslip.



- A2-scenarierne forudsætter en opsplittet verden med lille global økonomisk integration og langsommere teknologisk udvikling. Samtidig forudsættes fortsat høj befolkningstilvækst. Resultatet af disse forudsætninger er en markant mindre økonomisk vækst end i A1, men lige så store drivhusgasudslip.
- B1-scenarierne forudsætter i lighed med A1 høj økonomisk vækst og teknologisk udvikling i en verden præget af globalisering. I forhold til A1 forudsætter B1 også, at fremtidens forbrug bliver mindre ressourceintensivt, og at meget miljøvenlige teknologier introduceres. Dermed opnås en høj økonomisk vækst med relativt lille miljøbelastning.
- B2-scenarierne forudsætter moderat vækst i befolkningen og økonomierne og en langsommere udvikling i miljøteknologier end i A1- og B1-alternativerne. Ligesom for A2-scenarierne forudsættes relativt lille global økonomisk integration, og disse antagelser medfører tilsammen, at B2-scenarierne forudsiger mindre drivhusgasudslip end A1- og A2-scenarierne, men højere udslip end B1.

3.3.2 Klimarapportens hovedpunkter

Generelt kan det siges, at den fjerde Hovedrapport fra FN's Klimapanel, der udkom i 2007, har bidraget til at øge bevidstheden hos både befolkningen og politikerne om, at klimaforandringerne, der kan observeres, er menneskeskabte. Selvom der i dag stadig eksisterer mange skeptikere på klimaområdet, så dokumenterede rapporten, at menneskeskabte klimaforandringer i dag er en realitet.

De vigtigste budskaber i IPCC's klimarapport er:

- Der er observeret mere intens opvarmning, is smeltning og havstigning (> 90 % sandsynligt)
- Der er ingen tvivl om, at mange af de observerede klimaændringer er menneskeskabte
- Mængden af drivhusgasser i atmosfæren stiger fortsat - og koncentrationerne er nu de højeste i 650.000 år
- Ændringer i ekstremer og regionale mønstre tilskrives nu menneskeskabte udledninger af drivhusgasser
- Den globale middeltemperatur forventes at stige yderligere 2-4 grader uden indgreb i dette århundrede
- Opvarmningen forventes at fortsætte de næste 30 år mindst, og havniveauet forventes at stige også efter år 2100

For fremtidens Europa har klimapanelet i den Fjerde Hovedrapport vurderet at:

- Klimaforandringer ventes at øge de regionale forskelle i naturgrundlaget inden for EU.
- Negative konsekvenser omfatter øget risiko for oversvømmelser som følge af skybrud. Ligeledes forventes hyppigere oversvømmelser og øget kysterosion som følge af ændret stormklima og stigende havniveau.
- I bjergegne forventes gletsjerne at smelte yderligere tilbage, der vil blive mindre snedække og vinterturismen reduceres.
- I Sydeuropa forventes forværrede forhold som følge af højere temperaturer og tørke i de områder, der allerede er sårbare over for store klimaudsving. Vandmangel forventes at føre til reduceret vandkraftpotentiale og sommerturisme samt generelt medføre begrænsninger i landbrugsudbyttet.
- Klimaændringerne forventes også at føre til øget sundhedsrisiko som følge af hedeølger.

Der er dog fortsat usikkerhed om nogle af klimaets nøgleprocesser:

- Solen vurderes nu at være af mindre betydning end i tidligere IPCC rapporter
- Havisens betydning er måske større end hidtil vurderet
- Grønland og Vestantarktis' skæbne er uvis - der er for få data og for dårlige modeller
- Derfor er der nu større usikkerhed om det fremtidige globale havniveau (>0,2-0,6+m)

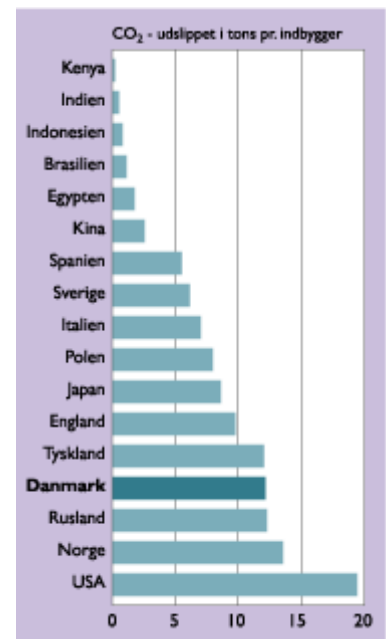
3.4 Internationalt klimasamarbejde

Uddrag fra *dmi.dk* og *globalemiljoe.dk*

Tyve procent af klodens befolkning bor i de rige lande, men denne befolkning står for ca. 80% af det totale CO₂-udslip. I gennemsnit tilfører 1 dansker atmosfæren ti gange så meget kuldioxid som fx en inder.

Energistatistikken viser med al tydelighed, at det er de rige lande som bærer hovedansvaret for drivhuseffekten. Samtidig vil de lande som udleder mindst kuldioxid blive hårdest ramt af klimaforandringer. Lande som Indien, Bangladesh og Vietnam har udsigt til store problemer med oversvømmelse, mindre fødevarerproduktion og øget forekomst af malaria som følge af øget varme og nedbør. Det er selvfølgelig uretfærdigt og forpligter verdens lande på at arbejde på en global løsning.

Den skæve fordeling af verdens energiforbrug skræmmer, også fordi det viser at CO₂-udslippet kan løbe helt løbsk, hvis folkerige lande som fx Kina og Indien får samme energivaner som os. Omvendt kan man ikke fortænke dem i at synes, de har lige så god ret til at udlede CO₂ som vi har.



3.4.1 Klimakonventionen og Kyotoaftalen

I 1988 etablerede FN det internationale klimapanel (IPCC), og på FN's generalforsamling i efteråret 1990 blev det besluttet at igangsætte forhandlingerne om en klimakonvention.

Klimakonventionen

Konventionen blev forhandlet på plads i perioden fra januar 1991 til foråret 1992, og blev underskrevet af 154 lande på miljøtopmødet i Rio de Janeiro i juni 1992. Konventionen trådte i kraft 21. marts 1994, og er nu ratificeret af 184 lande.

Klimakonventionens formål er at "opnå en stabilisering af koncentrationerne af drivhusgasser i atmosfæren, som kan forhindre farlig menneskeskabt indvirkning på klimasystemet. Dette niveau bør realiseres inden for en tidsramme, der er tilstrækkelig til at sikre, at økosystemerne kan tilpasse sig naturligt til klimaændringerne, til at fødevarerproduktionen ikke trues, og til at den økonomiske udvikling kan fortsætte på et bæredygtigt grundlag".

Klimakonventionen omfatter følgende 6 drivhusgasser: De naturligt forekommende gasarter kuldioxid, metan og lattergas - samt de industrielt fremstillede fluorerede kulbrinter: HFC'erne, PFC'erne og SF₆.

Krav til medlemslandene

Klimakonventionen indeholder en lang række forpligtelser for de lande, der har ratificeret konventionen:

- Opstilling af oversigter over udslip af drivhusgasser, opstilling af programmer til reduktion/begrænsning af udslippet af drivhusgasser, beskyttelse af CO₂-lagre og dræn f.eks. skove, fremme af den videnskabelige forskning på klimaområdet og fremme af befolkningens kendskab til og opmærksomhed om klimaændringerne.
- Indsendelse af nationale kommunikationer, hvori en række nationale forhold med relation til landenes forpligtelser skal beskrives. For i-landene gælder det især emissionsoversigter, programmer til reduktion af udslippet af drivhusgasser og forventningerne til de fremtidige udslip. Forpligtelsen for u-landene er under forudsætning af at i-lande, der ikke er overgangsøkonomier hjælper finansielt og teknisk.

- I-lande som ikke er overgangsøkonomier skal ligeledes stille de nødvendige ressourcer til rådighed for at udviklingslandene kan opfylde deres forpligtelser samt dække deres udgifter til tilpasning til klimaændringerne. For at udviklingslandenes økonomiske og samfundsmæssige udvikling kan ske på et mere bæredygtigt grundlag har i-landene også forpligtet sig til at fremme og finansiere overførsel af bæredygtig teknologi og viden.
- Endelig indeholder konventionen en bestemmelse om, at landenes forpligtelser – specielt i-landenes forpligtelser, m.h.t. udslippet af drivhusgasser - skal vurderes med jævne mellemrum med henblik på opfyldelse af konventionens langsigtede målsætning om stabilisering.

Kyotoaftalen

Klimakonventionen blev i december 1997 suppleret med Kyotoaftalen, også kaldet Kyotoprotokollen. Kyotoprotokollen er primært en skærpelse af klimakonventionens krav til især I-landenes udslip af drivhusgasser. Protokollen opstiller bindende reduktionsmål for de såkaldte Annex 1-lande, dvs. de industrialiserede lande samt lande med overgangsøkonomier (i Central- og Østeuropa).

For at gøre I-landenes reduktioner af udslippet så omkostningseffektive som muligt indeholder Kyotoprotokollen mulighed for handel med emissionskvoter, kreditering for investeringer i fælles projekter i Annex 1-lande (Joint Implementation - JI) og mellem Annex 1-lande og udviklingslande (Clean Development Mechanism - CDM). Der er to formål med CDM, nemlig at opnå drivhusgasreduktioner for i-landene og fremme den bæredygtige udvikling i ulandene.

Klimakonventionen og Kyotoprotokollen tilføjer således nye elementer til samarbejdet mellem Annex 1-lande og u-lande samt mellem Annex 1-lande indbyrdes. Selvom u-landene endnu ikke har påtaget sig forpligtelser til begrænsning i udledning af drivhusgasser er det målet, at dette kommer til at ske på længere sigt. Der er behov for både politisk og finansiel støtte til at lede udviklingen i u-landene i en bæredygtig retning og bidrage til at der overføres teknologi og viden.

Krav til medlemslandene

- De industrialiserede lande skal nedbringe deres CO₂-udslip med i gennemsnit 5,2% for perioden 2008-12 i forhold til 1990. Er reduktionen fx kun 4% i 2008 i forhold til 1990, så skal man reducere de manglende 1,2% et af de andre år. Der er forskel på landene. Fx skal Danmark og Tyskland reducere med 21%, Canada og Japan med 6% mens Rusland må fastholde sit niveau. Lande som Spanien, Grækenland og Portugal må derimod øge med henholdsvis 15%, 21% og 25%. Det skyldes, at disse lande industrielt ikke er så langt fremme og derfor har brug for mere energi for at skabe vækst.
- For u-landene opstilles ingen reduktionsmål for ikke at forhindre vækst og udvikling. Dette er den officielle årsag til at USA ikke har underskrevet aftalen idet de vil have u-landene forpligtiget til på længere sigt også at begrænse deres CO₂-udslip. Men den amerikanske olieindustri har også haft stor indflydelse på USA's modvillighed overfor Kyotoaftalen.
- Det er tilladt at handle med CO₂-kvoter. Dvs. et land som ikke udnytter sin CO₂-kvote kan sælge den til et andet land. Et land som Rusland forventer at få en del indtægter herved. Det skyldes, at Ruslands energibehov op gennem 90'erne faldt pga. økonomisk afmatning og nedgang i den industrielle produktion. Dermed har landet en uudnyttet CO₂-kvote i forhold til basisåret, 1990. Ordningen er ikke uden problemer. Især kan man frygte at det for de rige lande bliver muligt at købe en øget udledningskvote billigt frem for at gennemføre reduktioner på hjemmefronten. Danmark og EU har derfor lagt vægt på, at handel med CO₂-kvoter kun må udgøre et supplement til den nationale indsats og at det først skal være muligt at handle med CO₂-kvoter i 2008.
- Skovrejsning medregnes i et lands CO₂-regnskab, så man ved at plante skov ikke behøver at begrænse sit CO₂-udslip så meget. Navnlig dette punkt var en af de svære knaster ved forhandlingerne i Bonn. Japan og Canada var for, mens EU-landene var imod men endte med at give sig da forhandlingerne ellers var brudt sammen. Problemet er bl.a. at det kan være svært at afgøre og kon-

trollere, hvornår der er tale om øget skovdække eller skov som fældes igen med henblik på tømmer.

Samlet set er Kyotoaftalen lidt af et paradoks. På den ene side har man omsider fået en aftale, som landene er juridisk forpligtet til at overholde, og som alle lande støtter - på nær USA. På den anden side er indholdet temmelig magert og vil i praksis kun betyde en begrænset opbremsning af CO₂-kurvens himmelflugt. De besparelser som i-landene har opnået i 2012 vil sandsynligvis være blevet mere end spist op af et øget energiforbrug i u-landene, sådan at det totale CO₂-udslip vil være større end nogensinde. Omvendt må man også se aftalen som et udtryk for, at det internationale samfund tager drivhuseffekten alvorligt og som et signal til hele verden om at der nu skrives til handling. Juraen i aftalen er kommet på plads, og man har fået nogle knapper at dreje på, sådan at aftalen forholdsvist nemt kan strammes op.

4 Danmarks fremtidige klima

Uddrag fra dmi.dk og klimatilpasning.dk

DMI's beregninger med globale og regionale klimamodeller viser den generelle udvikling for klimaet i Danmark, hvor vi i fremtiden må forvente at få et varmere og vådere vejr med flere ekstremer. De vigtigste forventede ændringer er:

- Mere regn: Vi får mere regn om vinteren og mindre om sommeren. Om sommeren får vi både tørkeperioder og kraftigere regnskyl.
- Mildere vintre: Vintrene vil blive mildere og fugtigere. Det betyder, at planternes vækstsæson kan blive forlænget.
- Varmere somre: Somrene bliver varmere, og der kan komme flere og længere hedebølger.
- Højere vandstand: Der forventes en generel vandstandsstigning i havene omkring Danmark.
- Mere vind: Vi kan forvente flere kraftige storme.
- Større skydække: Vi får generelt et svagt stigende skydække og stigningen vil være størst om vinteren.

Frem til 2050

For perioden frem til 2050 kan vi forvente de generelle klimaændringer, som fremgår af nedenstående to tabeller.

Klimaændringer i Danmark frem til 2050 ifølge A1B-scenariet	
Årsmiddeltemperatur	+0.8 °C
Vinter	+1.0 °C
Sommer	+0.4 °C
Årsmiddelnedbør	+11 %
Vinter	+7 %
Sommer	+8 %
Hav:	
Middelvind	+1 %
Hav+land:	
Stormstyrke	+3 %

Ændringer i ekstremer frem til 2050 ifølge A1B-scenariet	
Frostdøgn	-17 døgn
Vækstsæson	+21 døgn
Hedebølge	+2 døgn
Sommernætter	+ 4 %
Døgn med mere end 10mm nedbør	+7 døgn
5-døgnsnedbør	+7 mm
Nedbørens middelintensitet	+0.5 mm/d

Klimaændringer i Danmark beregnet med DMIs regionale klimamodel HIRHAM5 på baggrund af fremskrivninger foretaget med den globale klimamodel ECHAM5 i forbindelse med EU-projektet ENSEMBLES. Alle tal i tabellen er ændringer for perioden 2021-2050 i forhold til normalperioden 1961-190.

Klimaændringer på længere sigt

Regeringens strategi for klimatilpasning bygger på tre klimascenarier, A2, B2 og EU2C-scenariet. A2- og B2-scenariet er som beskrevet udarbejdet af FN's klimapanel, mens EU2C-scenariet er baseret på EU's målsætning om, at den globale middeltemperatur ikke må stige mere end 2 grader i forhold til det før-industrielle niveau.

For perioden frem til 2050 er der ikke stor forskel på scenarierne og for denne periode kan A1B-scenariet betragtes som værende repræsentativt. Rækker horisonten frem til 2100, må flere scenariers forudsigelser tages i betragtning.

DMI har nedskaleret de fire scenarier, så de passer til danske forhold, og på den baggrund udarbejdet tallene i nedenstående tabel. Tallene for A1B-scenariet er beregnet med et andet modelsystem end tallene for de øvrige scenarier.

Klimaændringer frem til 2100	A1B	A2	B2	EU2c
Årsmiddeltemperatur	+2,2 °C	+3,1 °C	+2,2 °C	+1,4 °C
Vinter	+3,3 °C	+3,1 °C	+2,1 °C	+2,0 °C
Sommer	+1,2 °C	+2,8 °C	+2,0 °C	+1,3 °C
Årsmiddelnedbør	+22 %	+9 %	+8 %	0 %
Vinter	+20 %	+43 %	+18 %	+1 %
Sommer	+16 %	-15 %	-7 %	-3 %
Maximum døgnetnedbør		+21 %	+20 %	+22 %
Vind				
Middelvind over hav	+4 %	+4 %	+2 %	+1 %
Maximal stormstyrke	+4 %	+10%	+1 %	+1 %

Tabellen viser de beregnede danske klimaændringer udtrykt som ændring i forhold til perioden 1961-90 for Usikkerheden på temperaturberegningerne er 1,5 °C for A2- og B2-scenarierne og 0,7 °C for EU2C. Det betyder, at temperaturstigningerne i de tre scenarier med 90 % sandsynlighed vil ligge mellem 0,7 °C og 4,6 C i 2071-2100.

Som det ses i tabellen stiger den forventede nedbør om sommeren ifølge A1B scenariet, mens den falder for de øvrige scenarier. Dette skyldes, at Danmark ligger på grænsen mellem to zoner, hvor der forventes hhv. mere og mindre sommernedbør. Forskellene afspejler usikkerheden.

Mere ekstremt vejr

De fire scenarier A1B, A2, B2 og EU2C forudsiger mere ekstremt vejr i Danmark. I dette skema ses indikatorer på ekstremer for de fire scenarier:

Indikator	A1B	A2	B2	EU2c	Nutidsværdi
Antal døgn med frost (døgn/år med T_{\min} under 0°C)	-45	-44	-31	-26	73
Vækstsæsonens længde (døgn i træk over 5°C)	+77	+55	+39	+22	224
Årets længste hedebølge (døgn i træk med T_{\max} mere end 5°C over normal)	+8	+9	+4	+4	5
Varme sommernætter (% døgn i T_{\min} over normal 90 percentil)	+12	+20	+13	+10	10
Antal døgn med mere end 10 mm nedbør (døgn/år)	+14	+3	+3	-1	13
Årets største 5-døgnssum af nedbør (mm/5-døgn)	+14	+4	+4	+1	47
Middel intensitet af nedbør for døgn med mere end 1mm (mm/døgn)	+0,9	+0,3	+0,3	0	4,7
Kraftige nedbørshændelser (% nedbør over normal 95 percentil)	+10	+5	+6	0	32

Tabellen viser udvalgte ekstremindikatorer for de fire klimascenarier. Tallene viser forskellen mellem 2071-2100 og 1961-1990. Sidste kolonne viser modellernes nutidsværdi som gennemsnittet mellem de to nutids-simuleringer, der indgår i denne undersøgelse. Modellens nutidsresultater er ikke fuldstændigt identiske

Havniveau

Klimaforandringerne forventes at få middelvandstanden i havet omkring Danmark til at stige mellem 0,3 og 1 m i dette århundrede

DMI vurderer, på baggrund af den hidtidige forskning, at klimaændringerne kan få havniveauet omkring Danmark til at stige mellem 0,3 og 1 m i dette århundrede. Da landhævning og vind også spiller ind, vil det betyde, at den oplevede vandstand kan stige mellem 0,1 og 1,2 meter afhængig af hvor i landet, man befinder sig.

På det nuværende videnskabelige grundlag kan DMI ikke angive en øvre grænse for vandstandsstigninger langs de danske kyster. DMI anbefaler derfor, at muligheden for endnu højere stigninger inddrages i eventuelle risikovurderinger.

Forventet stigning i havvandstand	2050	2100
Middelvandstandsstigning	0,15 – 0,45 m	0,3 – 1 m
Lokale forhold		
Landhævning	-(0,05 – 0,1) m	-(0,1 – 0,2) m
Vind	0 – 0,1 m	0 – 0,3 m
Estimat i alt	0,05 – 0,5 m	0,1 – 1,2 m

Tabellen viser de beregnede danske klimaændringer udtrykt som ændring i forhold til perioden 1961-90 for FN's klimapanel forudsiger i sin 4. hovedrapport en global vandstandsstigning af størrelsen 0,2 - 0,6 m indtil 2100. Hovedparten af stigningen skyldes vandets varmeudvidelse. Resten er bidrag fra afsmeltning af is kapper og gletsjere.

I FN's vurdering indgår ikke fremtidige hurtige ændringer i isens bevægelse. Nye observationer i Grønland og Antarktis tyder på, at dynamiske processer i forbindelse med isens bevægelser øger is kappens sårbarhed over for opvarmning og fører til større havniveaustigninger. DMI har inddraget dette i ovenstående

vurdering. Forståelsen af disse processer er endnu begrænset. DMI's vurdering er i overensstemmelse med konklusionerne på den internationale konference "Global Risks, Challenges and Decisions", som blev holdt i København 10. - 12. marts 2009.

Der kan være væsentlige regionale forskelle i vandstandsstigningen på grund af ændringer i havstrømme og gravitation. Disse er endnu ikke kortlagt i detaljer, men giver dog et mindre bidrag, som er inddraget i vurderingen. Gravitationsændringerne betyder, at afsmeltning fra Antarktis medfører større stigning i vandstanden omkring Danmark end en tilsvarende afsmeltning fra Grønland.

Vandstandsstigningen modvirkes af en generel landhævning efter sidste istid. DTU Space beregner landhævningen i Danmark ved hjælp af blandt andet moderne GPS målinger. Resultaterne viser, at landhævningen i den nordligste del af Danmark er cirka 15 - 20 cm i dette århundrede. I den sydligste del af Danmark er stigningen 5 - 10 cm. I Nordjylland, hvor landet hæver sig mest, vil det ses som en faldende vandstand, indtil faldet evt. opvejes af den klimabetingede stigning.

Vandstanden i havet er aldrig konstant. Tidevandet får havet til at hæve og sænke sig fra time til time. Der er højere vandstande og bølger om vinteren, fordi det her generelt blæser mere. Ved bestemte kombinationer af tidevand, vind og vejr opstår særligt høje vandstande, det kaldes stormfloder.

Vandstanden måles løbende på 60 lokaliteter i Danmark. Kystdirektoratet har udarbejdet en statistik for hver målestation, der viser, hvor tit forskellige vandstande optræder. Ud fra statistikkerne kan man se, hvilken vandstand der statistisk set kun optræder én gang i løbet af 50 år. Det er en såkaldt 50-års vandstand.

Når middelvandstanden i havet stiger, kan den maksimale vandstand ved stormfloder forventes at vokse nogenlunde tilsvarende eller lidt hurtigere. Det bedste bud på vandstanden ved en 50-års-hændelse i fremtiden er derfor: vandstanden ved en 50-årshændelse i dag plus den forventede havstigning korrigeret for landhævning og vind. Andre lokale forhold og f.eks. tidevand, kan dog også påvirke fremtidige stormflodsvandstande. Dette er endnu ikke undersøgt nærmere.

For Jyllands vestkyst forventes den maksimale vandstand ved ekstreme stormflodssituationer at blive øget med mellem 0,4 og 1,2 m i dette århundrede. Dette skyldes den generelle vandstandsstigning korrigeret for landhævning kombineret med et bidrag fra øget vind på 0,3 m.

I de indre danske farvande forventes vinden at betyde mindre, maksimalt en forhøjelse på 5 - 10 cm af vandstanden ved en 50-100-årshændelse frem til år 2100.

5 Klimaændringernes betydning i Aalborg

Aalborg kommune har gennem de seneste år beskæftiget sig indgående med de forventede klimaændringer, og disses betydning for kommunen. En del af den debat, der er foregået i forskellige fora har ført byrådet frem til at fastlægge en Bæredygtighedsstrategi, der efter en dialog med industrien, landbruget, dambrugserhvervet, natur- og friluftorganisationer m.fl. i juni 2008 kom til udtryk i følgende rapport: **Lokal indsats for en bæredygtig udvikling – Bæredygtighedsstrategi, 2008-11**, udsendt af Aalborg kommunes Udvalg for Sundhed og Bæredygtig Udvikling.

Aalborg byråd har valgt at denne strategi skal fokusere på 5 hovedtemaer: Klima, Ressourcer, Natur, Miljø og Sundhed samt Aalborg kommune som virksomhed. Under overskriften "Klima" kan der fra rapporten citeres følgende:

"I sin fjerde hovedrapport fra november 2007 konkluderer FN's klimapanel IPCC, at der ikke længere hersker tvivl om, at verden står over for massive udfordringer på klimaområdet. Klimaet viser allerede nu alarmerende tegn på forandringer. Der skal handles nu for ikke at forpasse muligheden for at begrænse de værste konsekvenser af klimaforandringerne. Hvis der handles nu, er det stadig muligt og økonomisk overkommeligt, at håndtere klimaforandringerne.

IPCC vurderer at en temperaturstigning på mere end 2 °C over den før industrielle temperatur vil få alvorlige konsekvenser for det globale klima. Skal den globale opvarmning begrænses til 2 °C indebærer det, at de globale udledninger af drivhusgasser skal ophøre med at stige inden for de næste 10 til 15 år, og at de inden 2050 skal reduceres med mindst 50 % i forhold til 1990-niveauet. FN's klimapanel anbefaler på baggrund heraf industrilandene at stille efter en reduktion af CO₂ på 25-40 % frem til 2020.

I Aalborg Kommune er der, siden Brundtland-rapporten i 1992, arbejdet på at opfylde FN's anbefalede mål for reduktion af CO₂. I 2004 besluttede Aalborg Kommune et mål om at reducere CO₂-udledningen på energiforsyningsområdet, eksklusiv Aalborg Portland, med 33 % i perioden 1990-2012.

Aalborg Kommune har valgt at tage medansvar for at forbygge klimaforandringer ved at sætte mål for reduktion af CO₂ og andre drivhusgasser, samt tage medansvar for at sikre en samfundsmæssig tilpasning til de konsekvenser klimaforandringerne vil medføre

Aalborg Kommunes mål for Klima:

- **Reduktion af CO₂-udledning:** CO₂-udledningen skal reduceres med 33 % i perioden 1990-2012, ekskl. transport og Aalborg Portland.
- **Nye mål for CO₂-udledning efter 2012:** Inden 2009 skal der udarbejdes energibalance og energiplan, med henblik på at fastsætte et nyt mål for reduktion af CO₂-udledningen gældende fra 2012, der som udgangspunkt skal være mere ambitiøst end det nationale mål.
- **Øget energispareindsats:** Energispareindsatsen i Aalborg kommunens bygninger skal øges med henblik på at reducere energiforbruget til el og opvarmning med minimum 2 % per år i perioden 2008-2020.
- **Samlet klimastrategi:** Inden 2009 skal der vedtages og implementeres en samlet klimastrategi for Aalborg Kommune.
- **Fokus på afledning af vand:** Anvendelse af separatkloakering og lokal afledning af regnvand skal fremmes mest muligt.

5.1 Kommunens strategi og indsats

For at opfylde målsætningerne på klimaområdet vil Aalborg Kommune i de kommende år gennemføre en række handlinger, der har til formål enten at forebygge klimaændringer gennem reduktion af drivhusgasser eller tilpasse sig de klimaændringer, der påregnes at indtræffe i de kommende år.

Reduktion af drivhusgasser

Med henblik på at skabe det nødvendige overblik over, hvilken indsats der vil være mest hensigtsmæssig for at få den største mulige reduktion af CO₂ i Aalborg Kommune, skal der udarbejdes en kortsigtet og en langsigtet energiplan. Den kortsigtede energiplan for Aalborg Kommune vil omhandle mål og mulige handlinger frem til 2020, mens den langsigtede del af energiplanen vil omhandle mål og mulige handlinger frem til 2050. Energiplanen vil vise forskellige scenarier for omlægning og udbygning af energisystemet i Aalborg Kommune, sammenhænge med den nationale energiplanlægning og det internationale energimarked.

For at følge udviklingen i energiforbruget i Aalborg Kommune og effekten af den indsats der gøres for at reducere CO₂-udledningen er det nødvendigt med mellemrum at lave en energibalance, der giver et overblik over energistrømmene i kommunen. Der forventes derfor som minimum lavet en energibalancen i forbindelse med udarbejdelse af energiplaner samt opdateringer af bæredygtigheds- og klimastrategi.

Energibalancen og energiplanen skal blandt andet anvendes som grundlag, når Aalborg Kommune skal tage beslutning om nye mål for reduktion af CO₂ frem mod 2020 og 2050.

Aalborg Kommune vil arbejde for at reducere udledningen af drivhusgasser blandt andet gennem øget indsats på energispareområdet, øget anvendelse af energieffektiv teknologi og vedvarende energi.

Der vil fortsat blive arbejdet på at fremme overskudsvarme i centrale områder ikke mindst til fjernkøling, der vil medføre en øget udnyttelse af overskudsvarme i sommerperioden.

I et forsøg på at bevidstgøre kunder og borgere gennemfører Forsyningsvirksomhederne energisparekampagnen "Aalborg melder sig ind i kampen". Kampagnen er samtidig et led i energiselskabernes energispareindsats, hvor selskaberne i gennemsnit skal realisere energibesparelser hos kunderne svarende til 1,25 % pr. år af energiforbruget. Muligheden for at opnå yderligere energibesparelser er også en medvirkende grund til, at der i de kommende år skal installeres intelligente målere til fjernaflæsning hos alle energiforbrugere.

For at reducere udledningen af drivhusgasser, vil Aalborg Kommune blandt andet indføre energiledelse i alle kommunale forvaltninger og gennemføre energibesparelser og energieffektiviseringer i egne institutioner, bygninger og virksomheder.

Aalborg Kommune vil arbejde for, at decentrale kraftvarmeværker, der anvender fossilt brændsel og ikke vil kunne forsynes med central kraftvarme, omlægges til biobrændsel, ligesom Fjernvarmeforsyningsens spids- og reserveanlæg helt eller delvist omlægges til 2. generations biobrændsler.

Det er ikke tilstrækkeligt kun at reducere CO₂-udledningen som følge af energiforsyning. Også områder som landbrug og ikke mindst transport må fremover levere deres andel af den samlede reduktion.

På transportområdet skal mere miljøvenlige transportformer end privatbilen fremmes.

Klimatilpasning i Aalborg kommune

I Aalborg Kommune vil klimaændringerne blandt andet medføre, at vandstanden i Limfjorden og vandløbene stiger, at nedbørsmængderne bliver mere ekstreme og hyppigere, temperaturerne bliver generelt højere, ligesom der kan forventes flere og kraftigere storme.

Klimaændringerne vil blandt andet betyde, at de lavest liggende arealer oftere oversvømmes, og at flere lavtliggende arealer kun kan kloakeres ved etablering af kostbare pumpeløsninger. De øgede vandmængder vil medføre øgede krav til fremtidens kloaksystemer og renseanlæg.

For at imødegå dette vil Aalborg Kommune sikre en høj driftssikkerhed af kloaksystemet og renseanlæggene, samt fremme anvendelse af separatkloakering og lokal afledning af regnvand mest muligt for ikke at belaste renseanlæggene med store mængder regnvand. Regnvandet kan i stedet anvendes som gevinst for byens rum eller bortledes eller nedsives lokalt.

Herudover vil der blandt andet blive arbejdet med anlæg til rensning af den første mængde regnvand efter regnskyl i byområder, med henblik på at opfylde målsætninger for vandmiljøet

En stigende vandstand og kraftigere nedbør vil sandsynligvis medføre en øget næringsstofudvaskning, og den landbrugsmæssige anvendelse af lavtliggende arealer skal ændres eller opgives.

Klimaændringerne vil også påvirke naturen, f.eks. i form af en ændret artssammensætning i dyre- og plantelivet.

Aalborg Kommune skal som plan- og byggemyndighed tage klimaændringerne i betragtning i forbindelse med den fremtidige planlægning og byudvikling.

Med henblik på at sikre den nødvendige information, dialog og samarbejde om de fremtidige udfordringer på klimaområdet forventer Aalborg Kommune at etablere et forum herfor, i form af et "Klimaråd", bestående af politikere, embedsmænd, samt repræsentanter for kommunens borgere og erhvervsliv.

5.1.1 Aalborg kommunes indsats på klimaområdet

Energiforsyning

- **Energibalancer og energiplan:** Der skal udarbejdes energibalancer og energiplaner for Aalborg Kommune. Energibalancerne skal udarbejdes regelmæssigt, dog minimum hvert 4. år. Energiplanen kan bestå af en kortsigtet og en langsigtet energiplan med et tidsperspektiv frem til henholdsvis 2020 og 2050.
- **Klimaråd:** For at sikre den nødvendige information, dialog og samarbejde om de fremtidige udfordringer på klimaområdet skal der etableres et forum herfor, bestående af politikere, embedsmænd, og repræsentanter for kommunens borgere og erhvervsliv.
- **Fjernkøling:** Anvendelse af fjernkøling til bygninger og tekniske anlæg skal fremmes mest muligt med henblik på energieffektivisering og øget udnyttelse af overskudsvarme i sommerperioden.

Energibesparelser

- **Energisparekampagner:** Der skal gennemføres kampagner med henblik på at bevidstgøre kommunens medarbejdere og borgere om energibesparelser.
- **Energisparepulje:** Tilbagebetalingstiden i forbindelse med udlån fra AKE Forsynings energisparepulje skal optimeres i takt med, at besparelser med kort tilbagebetalingstid gennemføres.
- **Energiledelse:** Der skal indføres energiledelse i kommunale forvaltninger (bygninger) i henhold til aftale mellem KL og Energiministeren.
- **Samarbejde med detailhandel og virksomheder:** Der skal indgås samarbejde med detailhandlen og virksomhederne med henblik på energibesparelser og miljøforbedringer.
- **Samarbejde med landbrug:** Inden 2012 skal mindst 25 % af samtlige erhvervsmæssige landbrug tilbydesamarbejde om grønne udviklingsplaner, inkl. Energispareplaner.

Energibesparelser

- **Vedvarende energi i kommunale bygninger:** Vedvarende energianlæg, herunder solceller, skal indpasses i kommunens egne bygninger.
- **Solceller:** Inden 2020 skal der opsættes minimum 5.000 m² solcelleanlæg i Aalborg Kommune.
- **Vindmøller:** Der skal udpeges områder i Aalborg Kommune, hvor der kan opføres vindmøller, der muliggør el-produktion fra vindmøller på minimum 25 % af elforbruget senest i 2025.

- **Biogasanlæg:** Der skal etableres flere biogasanlæg til behandling af husdyrgødning mv. Dels for at øge andelen af energi fra biogasanlæg fra ca. 150 TJ til ca. 1.000 TJ inden 2020 og dels for at reducere landbrugets anvendelse af handelsgødning.

Transport

- **Kollektiv trafik:** Fremkommeligheden for den kollektive trafik skal forbedres med henblik på at fremme anvendelsen af den kollektive trafik, hvor det er miljømæssigt og samfundsøkonomisk fornuftigt.
- **Bybusser:** Der skal, så snart det er muligt, anvendes CO₂-neutrale drivmidler til bybusserne, eksempelvis biogas-, brint eller 2. generations biodiesel.
- **Reduktion af CO₂ fra transport:** Udledning af CO₂ fra transport skal som minimum reduceres, så de nationale målsætninger kan opfyldes.

Klimatilpasning

- **Kloak og renseanlæg:** Det skal sikres, at kloaksystem og renseanlæg har en høj driftsikkerhed.
- **Klimaforebyggelse og tilpasning:** Konsekvensvurderingerne af klimaændringerne skal minimum opdateres hvert 4. år, med henblik på at de heraf affødte nødvendige tiltag omkring forebyggelse og tilpasning indarbejdes i alle relevante kommunale aktiviteter og formidles til offentligheden.
- **Spildevand og regnvand:** Central håndtering af spildevand og decentral håndtering af regnvand skal fremover være et bærende princip.
- **Regnvand:** Regnvand skal fremover anvendes som en gevinst for byens rum og skal i muligt omfang bortledes lokalt.
- **Oversvømmelse af arealer:** Oversvømmelse som konsekvens af hyppigere ekstrem nedbør, skal som udgangspunkt ske på arealer, hvor det fremmer en øget biologisk mangfoldighed.”

6 Ingeniørmæssige udfordringer

Som det fremgår af forrige kapitel, står Aalborg over for en stor udfordring, hvis kommunen skal tilpasse sig klimaforandringerne. Udledningen af drivhusgasser skal nedbringes, kulfyrede kraftvarme-værker skal om-lægges, og samfundet skal indstille sig på at håndtere større nedbørsmængder såvel i kloaksystemet, som i renseanlægget og ikke mindst i vores recipienter. Her fører den øgede tilførsel af næringssalte til opblomstring af alger, og vandstandsstigningerne medfører risiko for indsvivning af saltvand til vores drikkevand. Men det er ikke kun den øgede nedbør, som belaster vandmiljøet. Udretningen af danske vandløb i 1960'erne har også bidraget til en øget udledning af næringssalte, og grundvandet er flere steder truet af forurening og pesticider som følge af menneskeskabte aktiviteter. Så der er nok af udfordringer at kaste sig over, hvis vi i fremtiden skal håndtere klimaforandringerne og sikre vandmiljøet i Aalborg!

Afløbstekniske problemer

Klimaændringer eller ej - faktum er, at Aalborg med mellemrum rammes af voldsomme regnskyl, som skaber problemer såvel for trafikken som for husejere. I bydelen Kærby har beboerne sejlet i kaj i deres have og gået i waders i kælderen, når regnvandet stod højt i Østerå eller i kvarterets andre to vandløb.



Oversvømmet villakvarter.

Hvordan de voldsomme regnskyl skal håndteres, er en samfundsmæssig udfordring - og der er ikke nogen simpel løsning. Som det fremgår af forrige kapitel, har Aalborg kommune som en del af deres klimatilpasningsstrategi valgt at fokusere på at sikre:

- 1) at **kommunens afløbssystemer og renseanlæg fremover har en høj driftsikkerhed,**
- 2) at der fremover primært skal foregå en **central håndtering af spildevandet** i kommunen, medens **håndteringen af regnvand skal være decentral** – gerne ved at anvende regnvandet som en gevinst for byens rum før vandet - så vidt det er muligt - bortledes lokalt,

- 3) at **oversvømmelser**, som er en konsekvens af hyppigere ekstrem nedbør, som udgangspunkt **bør ske på arealer, hvor det fremmer en øget biologisk mangfoldighed.**

Punkterne 1 og 3 lægger op til, at Aalborg kommunes afløbssystemer skal have den fornødne kapacitet til at aflede de ekstreme regnhændelser, der fremover forventes som følge af klimaændringerne, specielt om sommeren. Hvis den fornødne kapacitet ikke er til stede, og hyppige oversvømmelser af terræn derfor må forventes, kan det blive nødvendigt at renovere eksisterende systemer eller gennemføre en såkaldt separatkloakering, hvor regn- og spildevand afledes i hvert sit system.

Store dele af kommunen er i dag fælleskloakeret, dvs. forsynet med afløbssystemer, hvor regn- og spildevand afledes i ét og samme rørsystem. Kommunens renseanlæg modtager i dag derfor meget store vandmængder under regn, i form af en blanding af nedbør og spildevand. For at denne spidsbelastning ikke skal blive driftsmæssigt u håndterbar, afledes der store vandmængder til kommunens vandløb gennem såkaldte aflastnings- eller overløbsbygværker.

Ved at separatkloakere kan regnvandet i stedet afledes lokalt, og spildevandet føres direkte til rensning. Renseanlæggenes driftssikkerhed er i dag tæt forbundet med, hvor store vandmængder, der afledes til anlæggene. Her vil en overgang fra fælleskloakering til separatkloakering være meget driftsfremmende, idet tilløbsmængderne og -variationerne bliver markant reduceret til hovedsagelig at bestå af "rent" spildevand.

Men fokus bør ikke kun være på selve afløbssystemet. En vigtig del af problemet er også, hvor stor en andel af nedbøren, der rent faktisk ender i kloakken. Her er jordens befæstelse en vigtig faktor, dvs. hvorvidt den er bebygget, asfalteret, flisebelagt eller ubefæstet. Belægningen og ikke mindst jordens sammensætning (sand, ler, silt, kridt osv.) er afgørende for, hvor stor en andel af nedbøren, der kan sive direkte ned i jorden samt hvor hurtigt dette sker, og hvor stor en andel, som i stedet strømmer af og ledes i kloakken. En af de muligheder, der drøftes, for at nedsætte andelen af vand, der ender i kloakken, er indførslen af en afgift for husejere på afledningen af regnvand. I regeringens "Strategi for tilpasning af klimaændringer i Danmark", står der således, at ændrede betalingsregler er en mulighed.

En afgift vil være medvirkende til, at få danskerne til i højere grad selv at stå for afledningen af regnvandet. En mulig løsning er Lokal Afledning af Regnvand (LAR), som går ud på, at regnvandet fra et bebygget område ledes til en såkaldt faskine, som er i stand til at rumme nedbørsmængderne og som løbende afgiver vandet igen til nedsivning. Et andet alternativ er opsamling af regnvand i tøndes, der så efterfølgende kan bruges til havevanding m.m.

Ideen med den forsinkede udledning af regnvand er ikke kun brugbar for husejere. Flere steder i de offentlige kloaksystemer gør man allerede brug af de såkaldte forsinkelsesbassiner, der gør det muligt at opsamle større mængder regnvand og efterfølgende tillede det recipienterne skånsomt. Udfordringen ligger her i at få dimensioneret bassinerne korrekt, så de kan håndtere vandmængderne tilfredsstillende og udforme dem, så de bliver en del af byens vand.

Belastning af nærrecipienterne

Som nævnt ovenfor afledes der ved spidsbelastninger af kloaksystemet store mængder vand til kommunens vandløb gennem de såkaldte aflastnings- eller overløbsbygværker. Forureningsmæssigt er disse regnbetingede overløb til nærrecipienterne (modtagende vandmiljø) et problem, da vandløb, søer m.m., der med mellemrum skal modtage en sådan blanding af regn- og spildevand, ofte som følge heraf har svært ved at opretholde den ønskede recipientkvalitet. Dette er et problem, eftersom halvdelen af de danske åer, 2/3 af de danske søer og næsten 90% af fjordene og kystområderne er under EU's standarder.

Så sent som den 4. oktober 2010 har Miljøministeren sendt forslag til 23 vandplaner i offentlig høring. Disse fokuserer bl.a. på:

- 1) at reducere mængden af kvælstof langs kysterne
- 2) at reducere mængden af fosfor i søerne

- 3) at forbedre dyre- og plantelivet i vandløb
- 4) at rense mere spildevand og dermed forbedre naturen i vandløb

Den enkelte kommune bestemmer selv, hvad der skal ske for at forbedre det enkelte vandområde, men planerne giver en række redskaber, som kan bruges for at nå målet, hvoraf de vigtigste er:

- 1) krav om yderligere efterafgrøder for at reducere udledningen af kvælstof
- 2) at anlægge randzoner og vådområder ved indløb til søerne for at reducere fosfor
- 3) at ændre vedligeholdelse eller restaurere vandløb for at forbedre plante- og dyreliv
- 4) at kloakere eller forbedre rensning af spildevand, og dermed:
- 5) at reducere udledning af organisk stof i spildevandet, der er årsag til iltvind i vandløb

Flere af redskaberne omhandler således nærrecipienterne og de afløbstekniske forhold. Som beskrevet i forrige afsnit, er der mange udfordringer forbundet med en forbedring af bortledningen af regnvand, men at ændre vedligeholdelse eller restaurere vandløb er bestemt ikke uproblematisk.

De varslede fremtidige vandstandsstigninger i Limfjorden vil for Aalborg kommune have stor betydning for afledningen af regn- og spildevand i afløbssystemerne, da et generelt højtliggende vandspejl i Limfjorden og i de vandløb, der har udløb hertil, vil skabe en opstuvning i afløbssystemerne, der derfor vil få sværere ved at aflede de ønskede vandmængder. En af udfordringerne ved at restaurere vandløbene er således at vurdere de nødvendige dimensioner og fald efter genslyngningen, så afstrømningen fra oplandet sikres.



Oversvømmede enge ved Kongeå.

Men et generelt højere vandspejl i Limfjorden og afvandende vandløb vil i stormsituationer selvfølgelig være et problem i sig selv i forhold til risikoen for hyppige oversvømmelser af lavtliggende arealer langs havnen og på de engarealer, der grænser op til vandløbene.

Grundvandsbeskyttelse

Vandstandsstigninger i Limfjorden er imidlertid ikke kun et problem i forhold til oversvømmelser. Det øger samtidig risikoen for indsvivning af saltvand til grundvandet, og kan dermed på sigt komme til at udgøre en trussel mod vores drikkevand. Aalborg Kommune har en målsætning om at sikre rent drikkevand til kommunens borgere baseret på rent grundvand - det er en generel holdning i Danmark, at vi helst vil fremstille vores drikkevand ud fra grundvand uden brug af avanceret vandbehandling. Dette er imidlertid ikke en selvfølge i fremtiden, hvis ikke vi gør noget for at beskytte vores grundvand - ikke kun mod indsvivende saltvand.



Kemikalieoplag.

Menneskelige aktiviteter har gjort, at mange grunde rundt om i Danmark i dag er forurenede med olie og kemikalier. For eksempel findes der i jorden under gamle servicestationer ofte oliespild fra utætte tanke og rørføringer; ved gamle renserier er det opløsningsmidler, som er problemet, og ved gasværker er det tjære. Oprydningen af de gamle forurenede grunde og affaldspladser er i gang, men visse steder i Danmark er grundvandet allerede blevet forurenede med bl.a. nitrat, pesticider, organiske opløsningsmidler og olie. Andre steder ved man, at de forurenende stoffer er på vej med regnvandet ned gennem jorden. Udfordringen ligger her i at begrænse spredningen af forureningen og sikre vores grundvand, specielt de områder med særlige drikkevandsinteresser.

7 Opgaver

Med udgangspunkt i de klimaændringsrelaterede problemer og de ingeniørmæssige udfordringer, der er forbundet med løsningen af disse, har en række ingeniørvirksomheder i Aalborg formuleret efterfølgende opgaver, som det er tanken, at 2. g klasserne på Aalborg-gymnasierne efter eget valg kan vælge at arbejde med i den daglige gymnasiale undervisning i november måned 2010. Først og fremmest for at gøre gymnasielever i Danmark opmærksomme på de mange spændende opgaver, der skal løses på det vandmiljø-tekniske område i de kommende år, hvis de udfordringer, der på dette område er forbundet som de varslede klimaændringer, skal håndteres på "forkant" og ikke på "bagkant".

Som nævnte i dette notats forord, bør den enkelte gymnasieklasse i sin opgavebesvarelse indledningsvis forholde sig til de varslede klimaændringer. Som tidligere nævnt er mange af figurerne i dette notats kapitel 3 baseret på data til år 2000. Man bør derfor forsøge at indhente nyere data, som belyser, hvordan det er gået siden omtalte figurer fremkom. Friske klimadata – fx nedbør, temperatur, soltimer, m.m. - kan også inddrages i denne sammenhæng. Med andre ord: udvikler klimaet sig som varslet eller har klimaændrings-skeptikerne ret?

Gode links i denne forbindelse:

<http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/ipcc-2.htm>,

<http://flood.firetree.net/>,

<http://lokalavisen.dk/huset-oedelagt-for-anden-gang-paa-tre-aar/20100815/artikler/706099917/1799/lojgbm>.

Den opgave, som den enkelte gymnasieklasse måtte vælge at arbejde med, skal ikke nødvendigvis løses i fællesskab. En arbejdsdeling omkring opgavens løsning vil i mange tilfælde kunne anbefales.

Alle opgaverne tager afsæt i én eller flere af de ovenfor skitserede problemstillinger omkring klimatilpasningerne i Aalborg.

Såfremt den enkelte gymnasieklasse måtte ønske det, kan en repræsentant for det firma, der har formuleret opgaven, inddrages i undervisningen og via enten vejledning eller et indlæg komme med en uddybende forklaring på, hvad opgaven går ud på.

OPGAVE 1: Nedsivning af regnvand på det tidligere godsbaneareal i Aalborg?**Opgavestiller:** ENVIDAN A/S, J.F. Kennedys Plads 1K, 9000 Aalborg,**Kontaktperson:** Civ.ing., Ph.D., Claus Johansen, cjo@envidan.dk, mobil tlf.: 27 15 37 32**Baggrund:** En af problemstillingerne ved den fremtidige forøgede nedbørsmængde er håndteringen.

Politisk er der på det seneste kommet tilkendegivelser om, at man – for at undgå kapacitetsproblemer i de eksisterende afløbssystemer - skal betale for afledningen af regnvand. En konsekvens af dette vil være en forøget interesse for at nedsive regnvandet eller forsinke det lokalt. Specielt i forbindelse med omdannelse af gamle industriområder kan dette forhold inddrages i byudviklingen.

Som et eksempel på et sådan område kan nævnes det tidligere godsbaneareal i Aalborg

- Opgaven:**
- 1) Hvor meget regnvand skal der fremover afledes fra det tidligere godsbaneareal i Aalborg?
 - 2) Hvor stor et areal skal bruges til faskiner, hvis 50 % af regnvandet fra dette areal skal nedsives via faskiner – og er dette realistisk?
 - 3) Findes der andre muligheder til nedsivning/forsinkelse af regnvand fra dette område – og er de brugbare?

Mulighed for inddragelse af økonomiske betragtninger/levetidsberegninger kan overvejes.

Links: Området kan findes via :

http://www.aalborgkommune.dk/Om_kommunen/Byplanlaegning/Lokalplaner/Sider/Godsbanearealet-Aalborg-Midtby-lokalplan-1-1-110.aspx

Beregning af faskinestørrelse:

<http://exponet.net.dynamicweb.dk/Standard/Produkter/Bygge%20-%20anlæg/Nedsivning%20af%20regnvand/Vidste%20du,%20at%20du%20kan%20få%20hjælp%20til%20dimensionering.aspx#378>

Betaling af regnvand kan bl.a. findes på:

<http://www.bolius.dk/alt-om/vand/artikel/boligejere-skal-betale-for-regnvand-i-kloakken/>

Yderligere links:

http://www.aalborgkommune.dk/Om_kommunen/Byplanlaegning/Lokalplaner/Sider/Godsbanearealet-Aalborg-Midtby-lokalplan-1-1-110.aspx

<http://www.vandetsvej.dk/>

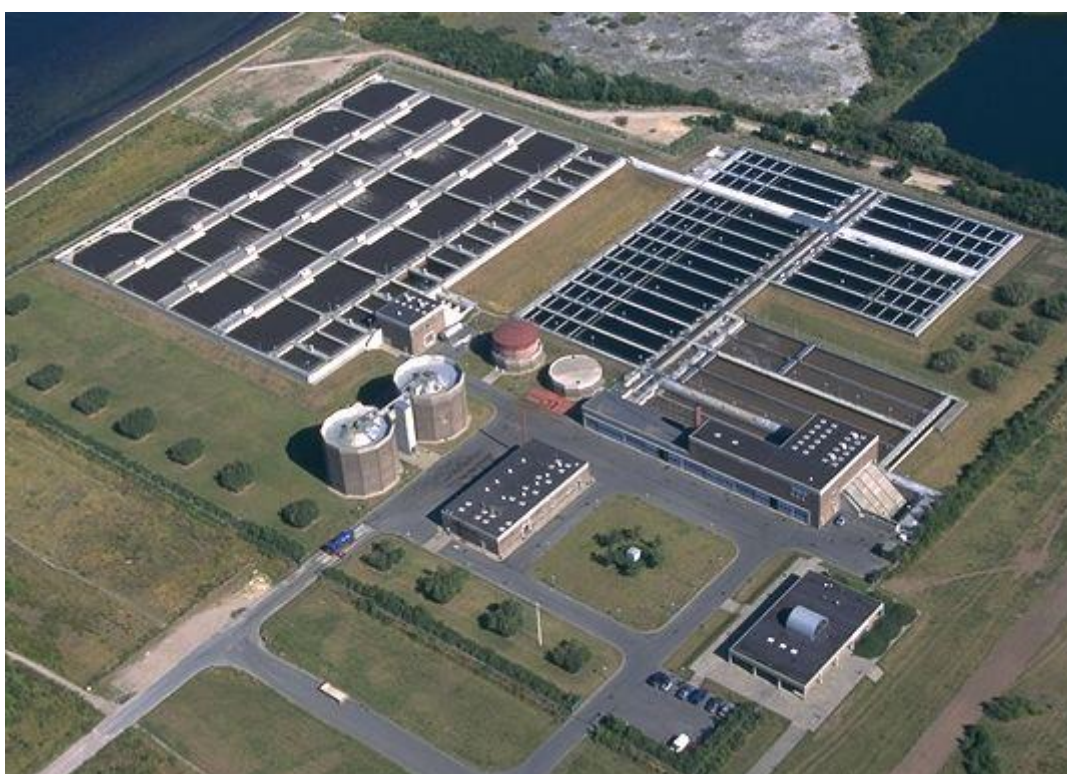
<http://www.19k.dk/idekatalog/27950>

OPGAVE 2: Fra spildevand til drikkevand

Opgavestiller: KRÜGER A/S, Indkildevej 6C, 9210 Aalborg SØ

Kontaktperson: Civ.ing., Vibeke Borregaard, VRB@kruger.dk, tlf.: 96 34 67 37

Baggrund: På grund af klimarelaterede vandstigninger frygter man at drikkevandet i Aalborg er i fare for at blive kontamineret med saltvand fra Limfjorden. Der er flere muligheder for at løse denne problematik. En af løsningerne kunne være at oprense spildevand fra Aalborg Renseanlæg Vest til drikkevand. Men hvad skal der til for at spildevand kan drikkes? Udover det lokale problem ser en gruppe forskere og ingeniører også en mulighed for på sigt sælge denne løsning til dele af verden, hvor der slet ikke findes drikkevand.



Figur: Aalborg Renseanlæg Vest med en kapacitet på 330.000 person ækvivalenter (PE). Se mere på www.forsyning.dk/FV/Kloak/Renseanlæg/Renseanlaeg+Vest.htm.

Følgende stoffer: Total kvælstof (N), Total fosfor (P), Total organisk stof (COD*) og Suspenderet stof (SS), er problematiske, som indhold i rensed spildevand.

Når vandet ledes ud i Limfjorden er renskravene som følger:

	Danske	EU
Total kvælstof (N):	8 mg/l	10 mg/l
Total fosfor (P):	1 mg/l	1 mg/l
Total organisk stof (COD*):	75 mg/l	125 mg/l
Suspenderet stof (SS):	25 mg/l	-

* Organisk stof måles som **C**hemical **O**xygen **D**emand (**COD**), hvilket henviser til mæng-

den af organisk stof, som kan oxideres kemisk.

Bakterierne i det rensede spildevand er måles som suspenderet stof, og udgør en væsentlig sundhedsrisiko, hvis vandet skal drikkes.

På samme måde som der for spildevand findes krav til rensningen, findes der også krav til drikkevand, da der af gode grunde er markant flere krav til drikke vand findes disse i bilaget "Grænseværdier for indhold i drikkevand".

Sammenlignes kravene til rensed spildevand og drikkevand ses det, at der er meget stor forskel, og der skal derfor laves kraftige tiltag for at rense spildevandet, så det må anvendes som drikkevand.

Bakterierne skal dræbes, det kan for langt de fleste bakterier vedkomne gøres ved at koge vandet.

Opgaven:

- 1) Det første regnestykke er derfor at finde ud af, hvor meget energi, der skal til for at koge alt det rensede spildevand fra Aalborg Renseanlæg Vest. Spildevandet er i gennemsnit 15 °C og der er ca. 22.000.000 m³ rensed spildevand om året.
Formel:
$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$
hvor E er energi forbruget i J, m er massen i kg, c er den specifikke varmekapacitet for vand 4.186 J/(kg·K), og ΔT er temperatur ændringen i K. Da 1 kWh er det samme som 3,6 MJ kan resultatet omregnes til kWh.
- 2) Beregn her efter hvor meget det koster og hvor mange ton CO₂ det svarer til. 1 kWh koster 0,75 kr. og det antages at 1 kWh svarer til 500 g CO₂ udledning. Regnestykket her er selvfølgelig lidt forenklet, da man ville anvende varmevekslere for at nedsætte energiforbruget. Der findes forskellige typer af varmevekslere, men hvis det antages at man kan spare ca. 75 % af energiforbruget er det måske ikke så dårlig en ide at opvarme vandet.
Hvad er den årlige pris for opvarmningen per m³ når besparelsen på 75 % medregnes?
- 3) Det antages at den årlige driftsomkostning på denne proces er ca. 6,0 mio. kr. og anskaffelses prisen er 20 mio. kr. Hvad koster anlægget over en periode på 10 år? Sammenlign denne metode med tilsætning af klor og UV-behandling i skemaet sidst i denne opgave. Det antages at disse tre metoder er ca. lige gode til at dræbe bakterier. Sammenligning bør være på omkostningerne over en 10 årig periode.

Løsning:

$$E = 22.000.000.000 \text{ kg} \cdot 4.186 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot (373 \text{ K} - 288 \text{ K}) = 7,83 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

Da 1 kWh er det samme som 3,6 MJ er energi forbruget ca. 2.200 MWh

CO₂ belastningen fra denne opvarmning er ca. 1.100.000 t CO₂ til sammenligning udleder en dansker i gennemsnit 10 t CO₂ om året. Ydermere koster opvarmningen ca. 16.300.000 kr om året.

$$\text{Pr}_{is_{m^3}} = \frac{16.300.000 \cdot 0,75}{22.000.000} = 0,56 \text{ kr} / \text{m}^3$$

$$\text{Pr}_{is_{10\text{år}}} = 16.300.000 \cdot 10 \cdot 0,75 + 20.000.000 + 6.000.000 \cdot 10 = 202,25 \text{ mio. kr}$$

Til sammenligning koster klor ca. 166 mio. kr. over 10 år og UV-behandlingen koster 124 mio. kr. over 10 år.

Andre muligheder:

Det er selvfølgelig mange forskellige muligheder, hvis spildevand skal renses så det kan anvendes som drikkevand. Den næste opgave bliver at sætte et system af en eller flere løsninger, som skal rense spildevandet. Løsningerne skal vælges ud fra hvor godt vandet bliver renses og økonomi (både indkøb, drift og pris per renses m^3).

Nedenfor findes et skema over forskellige metoder til rensning af spildevand, så det kan anvendes som drikkevand.

Parametre	Indhold i udløb fra rensesanlæg	Rensemetoder						Krav til drikkevand
		Bio-logisk filter	Ke-misk fældning	Klor	UV-be-handling	Ultra filtrering	Om-vendt osmose	
SS	25 mg/l	+	+	÷	÷	++	+++	0,1 mg/l ¹⁾
Organisk stof COD	75 mg/l	+	+	÷	÷	++	+++	0,1 mg/l ¹⁾
NO ₃	4 mg/l	++	÷	÷	÷	÷	+++	50 mg/l
NO ₂	2 mg/l	++	÷	÷	÷	÷	+++	0,1 mg/l
NH ₄	2 mg/l	++	÷	÷	÷	÷	+++	0,5 mg/l
Total fosfor	1 mg/l	+	+++	÷	÷	+	+++	0,15 mg/l
Bakterier og vira	10 ⁵ /100 ml	÷	+	++	++	+++	+++	0 /100 ml
Anlægspris	mio. kr.	20	10	10	20	50	100	
Drifts om-kostninger	mio. kr. pr år	6,0	3,0	9,0	6,0	30,0	50,0	
	kr/m ³	0,2	0,1	0,3	0,2	1,0	5,0	

¹⁾ Disse krav til drikkevandet er skønnede værdier, da de disse to parametre normalt er opdelt i mange flere for drikkevand.

Generelt skal der være to plusser ud for hver at parametrene på nær NH₄ hvor der ikke behøver at være nogen og bakterier og vira hvor der skal være tre. Under hver metode er der en række prise som alle sammen skal indgå i en beregning af omkostningerne ved 10 års drift af anlægget.

Løsning:

Der er fire løsningsmuligheder:

- 1) Biologisk filter, kemisk fældning og klor. Prisen på dette anlæg over 10 år er: 233,2 mio. kr.
- 2) Biologisk filter, kemisk fældning og UV-behandling. Prisen på dette anlæg over 10 år er: 211 mio. kr.
- 3) Biologisk filter og ultra filtrering. Prisen på dette anlæg over 10 år er: 456,4 mio. kr.
- 4) Omvendt Osmose. Prisen på dette anlæg over 10 år er: 710 mio. kr.

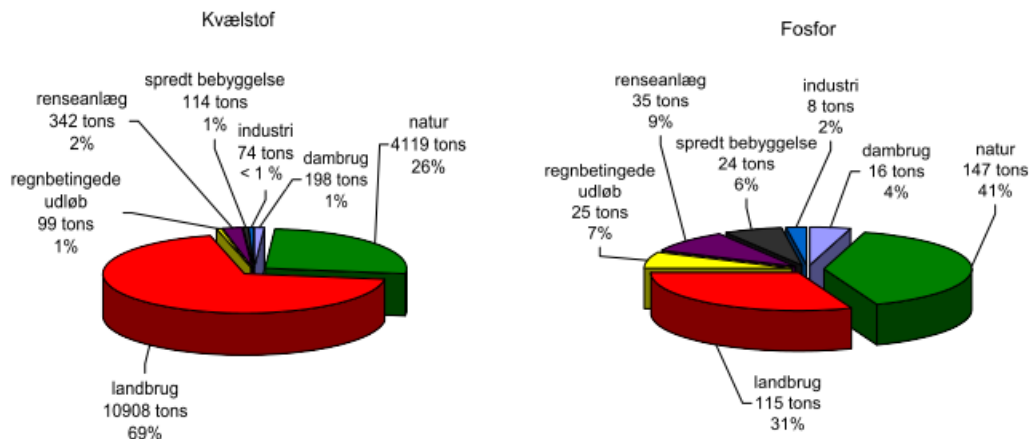
OPGAVE 3: Udledning af spildevand til Limfjorden

Opgavestiller: KRÜGER A/S, Indkildevej 6C, 9210 Aalborg SØ

Kontaktperson: Civ.ing., Vibeke Borregaard, VRB@kruger.dk, tlf.: 96 34 67 37

Baggrund: For at gøre Limfjorden renere er det blevet besluttet at Aalborg Renseanlæg Vest skal halvere sin udledning af kvælstof og fosfor. Som nævnt i opgave 2 udleder Aalborg Renseanlæg Vest 22.000.000 m³ rensset spildevand om året, det indeholder 8 mg/l kvælstof og 1 mg/l fosfor. Den årlige totale belastning af Limfjorden er ca. 15.850 t kvælstof om året og ca. 370 t fosfor om året.

Opgaven: Beregn den procentvise nedgang i total belastning af Limfjorden for både kvælstof og fosfor.



Figur: fordelingen mellem de enkelt udeledere i 2004. Bemærk at Aalborg Renseanlæg Vest kun udgør en andel af belastningen fra renselanlæg, da der er flere renselanlæg der udleder til Limfjorden.

Løsning: Nuværende udledning:

$$\text{Kvælstof: } TotalN = \frac{22.000.000 \cdot 8}{1.000.000} = 176t$$

$$\text{Fosfor: } TotalP = \frac{22.000.000 \cdot 1}{1.000.000} = 22t$$

Reduktionen er derfor 88 t kvælstof og 11 t fosfor om året.

$$\%N = \frac{88t}{15850t} \cdot 100\% = 0,56\%$$

$$\text{Procent andel: } \%P = \frac{11t}{370t} \cdot 100\% = 2,97\%$$

OPGAVE 4: Afledning af regnvand

Opgavestiller: COWI A/S, Thulebakken 34, 9000 Aalborg

Kontaktperson: Civ.ing., Anne Lise Nielsen, ann@cowi.dk, tlf.: 99 36 77 21

Baggrund: Når det regner skal vandet ledes fra overfladen, derfor er det vigtigt rørene i jorden er dimensioneret til at tage vandmængderne. For regnvandssystemer dimensioneres rørene efter at de må være fuldtløbende én gang om året. Derfor bruges den værste regnhændelse på året til at dimensionering. I Danmark bruges en hændelse med en intensitet på 110 l/s*ha.

Opgaven: Den viste del af parkeringspladsen ved City Syd er på 3,8 ha. Da parkeringspladsen er asfalteret skal alt regnvand bortledes gennem kloakken.



Kapaciteten i et rør beregnes som:

$$Q_{fuld} = M \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Hvor:

Q_{fuld} er kapaciteten af røret, når dette er fuldtløbende (m^3/s)

A er rørets indvendige tværsnitsareal (m^2)

M er Manningtallet ($m^{1/3}/s$)

R er den hydrauliske radius (m)

I er energilinje gradienten (m/m) (hældningen af røret)

Manningtallet bestemmes som $25,4 \cdot k^{-1/6}$, hvor k er et mål for størrelsen af rørets indvendige ruhed. Den hydrauliske radius kan for fuldtløbende rør bestemmes som en fjerdedel af den indvendige diameter.

Del 1:

Bestem vandmængden som løber fra parkeringspladsen ved regnhændelser med en intensitet på: 10, 30, 40, 50, 70, 90, 110 og 130 l/(s · ha).

Bestem derefter kapaciteten af følgende rør, når røret ligger med et 10 % fald. ($I = 0,01$)

Rør	Indvendig diameter (mm)	k (m)
Ø 315 Ultra-2 PP (plast)	280	0,00025
Ø 450 Ultra-2 PP (plast)	396	0,00025
Ø 560 Ultra-2 PP (plast)	493	0,00025
Ø 600 Beton	600	0,001
Ø 700 Beton	700	0,001

Optegn resultaterne i en samlet graf og beregn den maksimale nedbørsintensitet, som rørene kan klare.

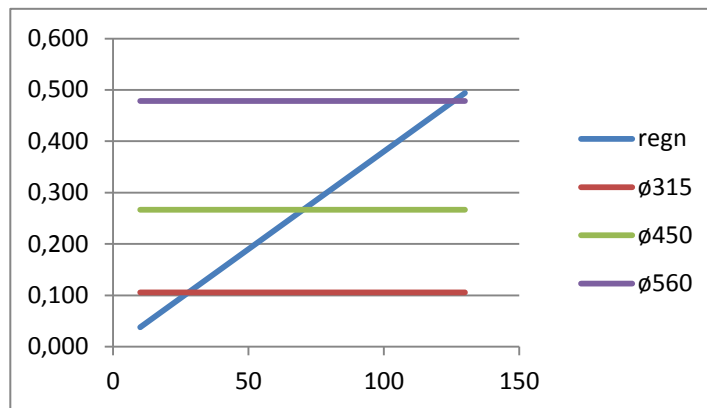
Del 2:

City Syd ønsker at udvide en af deres parkeringspladser. I jorden ligger et Ø560 plastrør med et fald på 5 ‰. Hvor stor en parkeringsplads kan tilsluttes dette rør når der regnes med en nedbørsintensitet på 132 l/(s · ha)?

Løsning:

Nedbørsintensitet l/(s · ha)	Areal (ha)	Vandmængde på overfladen m ³ /s
10	3,8	0,038
30	3,8	0,114
50	3,8	0,190
70	3,8	0,266
90	3,8	0,342
110	3,8	0,418
130	3,8	0,494

Ø	D_i (m)	A (m ²)	M (m ^{1/3} /s)	R (m)	I (m/m)	Q_{fuld} (m ³ /s)
315 plast	0,280	0,062	101,2	0,070	0,01	0,106
450 plast	0,396	0,123	101,2	0,099	0,01	0,267
560 plast	0,493	0,191	101,2	0,123	0,01	0,478
600 beton	0,600	0,283	80,3	0,150	0,01	0,641
700 beton	0,700	0,385	80,3	0,175	0,01	0,967

**Del 2:**

Røret har en kapacitet på 338 l/s hvilket betyder at der maksimalt kan tilsluttes $338/132 = 2,56$ ha.

Links:

-

OPGAVE 5: Lokal nedsivning af regnvand (LAR)

Opgavestiller: COWI A/S, Thulebakken 34, 9000 Aalborg

Kontaktperson: Civ.ing., Anne Lise Nielsen, ann@cowi.dk, tlf.: 99 36 77 21

Baggrund:

Opgave: **Del 1:**

På to parcelhusgrunde i Aalborg Vestby ønskes det undersøgt, hvor stor en del af grundene, der kan befæstes, når 25 m² af grundene afsættes til nedsivning, hvor vandet blot ledes ud på terræn. På grund 1 er der fint sand, mens jorden på grund 2 er fin jord med silt.

Den dimensionsgivende regn har en intensitet på 8 µm/s = 8·10⁻⁶ m/s, og følgende værdier for nedsivnings- eller infiltrationskapaciteten kan benyttes:

Jordtype	Nedsivningskapacitet (m/s)
Groft sand	10 ⁻³
Fint sand	10 ⁻⁴
Fin jord (silt)	10 ⁻⁵
Sandet ler	10 ⁻⁶
Siltet ler	10 ⁻⁷

Del 2:

De 2 grunde bliver nu bebygget, og det ønskes undersøgt hvor stort et areal, der skal bruges for at nedsive regnvandet fra det befæstede areal. Nedsivningen foregår fortsat ved at lede vandet ud på terræn.

Efter bebyggelsen er grundene befæstet på følgende måde:

- 120 m² hus
- 32 m² garage
- 348 m² flisebelægning, hvor 90 % af vandet løber til nedsivningsarealet

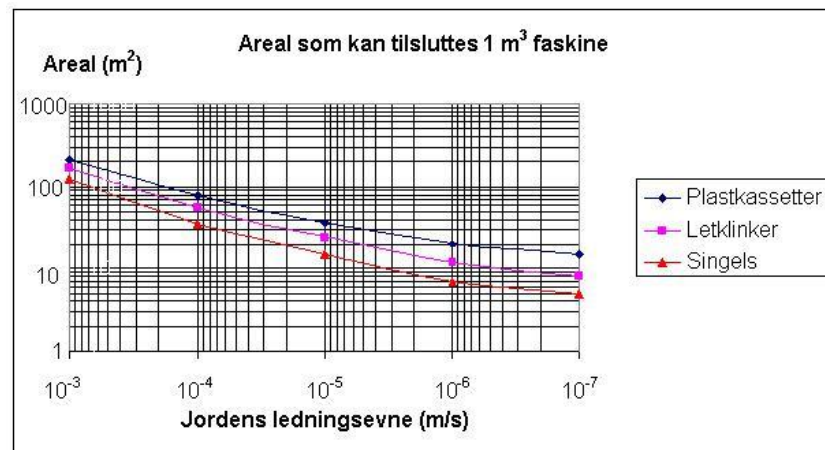
Hvor stort et areal skal der bruges til nedsivning på de to grunde når den dimensionsgivende regn har en intensitet på 11 µm/s?

Del 3:

Nedsivning af regnvand kan i stedet for på terræn foregå i faskiner – se eventuelt:

<http://www.teknologisk.dk/16402,3>

Nedsivningskapaciteten for faskiner kan aflæses på følgende figur:



Hvor mange m³ faskine af plastkassetter skal der bruges for at afvande det befæstede areal?

Løsning:

Del 1:

Grund 1:

Her kan 25 m² nedsive vand fra: $\frac{\text{Nedsivningsevnen}}{\text{Regnintensitet}} * \text{areal} = \frac{0,1 \text{ mm/s}}{0,008 \text{ mm/s}} * 25 \text{ m}^2 =$

$312,5 \text{ m}^2$. Ved en regn med en intensitet på 8 µm/s kan der derfor befæstes $312,5 \text{ m}^2 - 25 \text{ m}^2 = \underline{287,5 \text{ m}^2}$, da det også regner på de 25 m².

Grund 2:

Her giver samme regnestykke: 6,25 m², på grund af den mindre nedsivningsevne.

Del 2:

Grund 1:

$$\frac{0,1 \text{ mm/s}}{0,011 \text{ mm/s}} * x \text{ m}^2 = 120 \text{ m}^2 + 32 \text{ m}^2 + 0,9 * 348 \text{ m}^2 + x \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{x = 57,5 \text{ m}^2}$$

Grund 2:

Her er nedsivning ikke mulig, da regnintensiteten er større end nedsivningsevnen.

Del 3:

Grund 1:

Ved plastkassetter og fint sand aflæses grafen til 75 m² pr m³ faskine hvilket giver 5,84 m³.

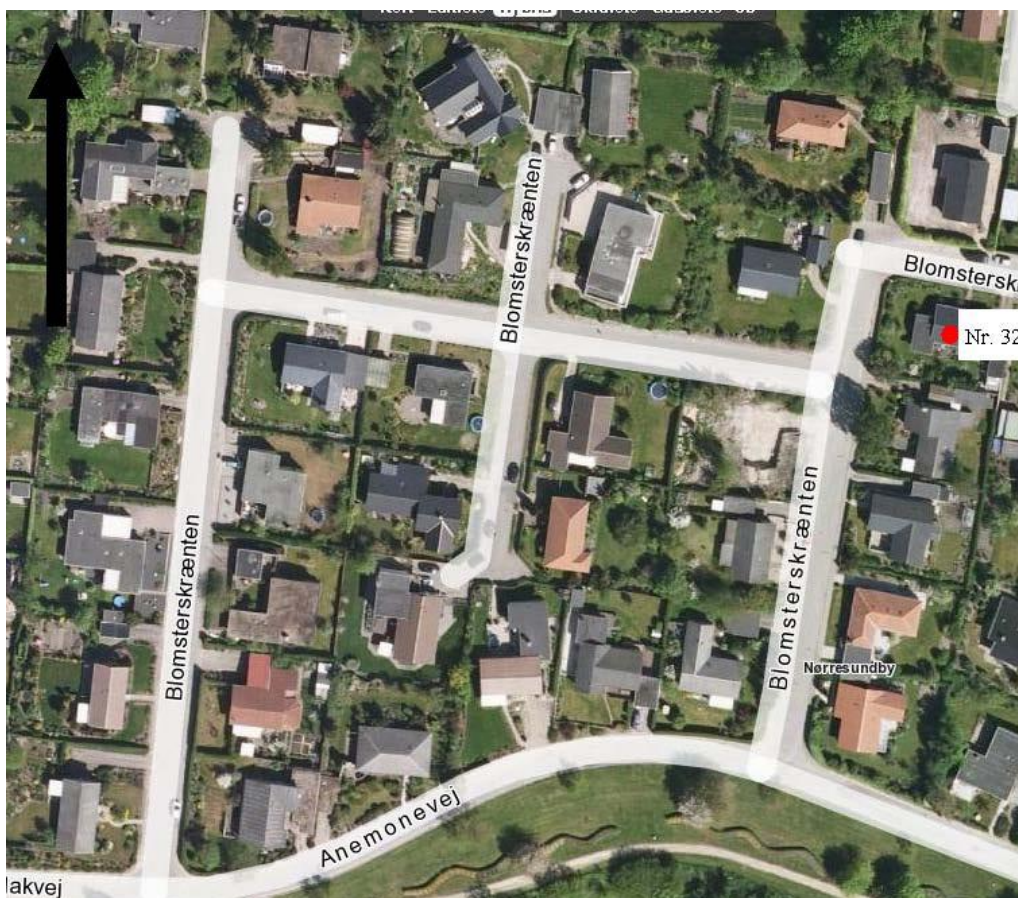
Grund 2:

Ved plastkassetter og fint jord med silt aflæses grafen til 38 m² pr m³ faskine, hvilket giver 11,52 m³.

Links:

Nedsivningskapacitet:

[http://www.expo-net.dk/Standard/Produkter/Bygge%20-%20anl%C3%A6g/Nedsivning%20af%20regnvand/M%C3%A5ling%20af%20jordens%20nedsivningsevne%20\(K-v%C3%A6rdi\).aspx](http://www.expo-net.dk/Standard/Produkter/Bygge%20-%20anl%C3%A6g/Nedsivning%20af%20regnvand/M%C3%A5ling%20af%20jordens%20nedsivningsevne%20(K-v%C3%A6rdi).aspx)

OPGAVE 6: Blomsterskrænten 32, Nørresundby**Opgavestiller:** NIRAS A/S, Vestre Havnepromenade 9, 9000 Aalborg**Kontaktperson:** Civ.ing., Peter Plejdrup Poulsen, PPP@NIRAS.DK, tlf.: 96 30 64 00**Baggrund:** -**Opgaven:** I forbindelse med et meget stort regnskyl over Aalborg har en borger på Blomsterskrænten 32 i Nørresundby meddelt teknisk forvaltning, at han har fået vandskader på huset.

Vores opgave er nu at finde ud af, hvorfor han fik og hvad der kan gøres for at undgå det i fremtiden.

Først skal årsagen til oversvømmelsen findes.

Del 1:

Afløbssystemet, hvortil regnvandet afledes, er i Blomsterskrænten en såkaldt topstrækning. En topstrækning vil sige, at det er øverst i afløbssystemet og der derved ikke er andre områder der leder vand igennem systemet. Strukturen på afløbssystemet kan ses på nedenstående figur:



Villaområdet består i grove træk af 10 % vej, 25 % ejendomme, 20 % semipermeable arealer (arealer, hvor regnvand delvist kan nedsive, f.eks. indkørsler, terrasser o. lign.) og resten er græsarealer (hvor vand nedsiver helt). Villaområdet er ca. 3,8 hektar stort.

Befæstelsesgraden i et sådan villaområde siger noget om, hvor stor del af det vand, som lander på overfladen, der egentlig ender i afløbssystemet. Befæstelsesgraden måles i procent. F.eks. antages det, at 100% af det vand, der lander på huse og veje ender i kloakken. Af de semipermeable flader antages 35% at ende i afløbssystemet.

Beregn den samlede befæstelsesgrad for hele området ud fra de givne oplysninger.

DMI har meddelt at regnhændelsen varede ca. 10 minutter og havde en gennemsnitlig intensitet på 190 l/(s·ha). Dette svarer til en regnhændelse, som statistisk optræder én gang hvert 5 år.

Beregn hvor mange kubikmeter vand, der lander i afløbssystemet i løbet af den 10 minutter korte regnbyge. Husk at ikke al vandet ledes til afløbssystemet, men nedsiver der, hvor det lander (hint: befæstelsesgraden).

Villaområdet har desværre ikke mulighed for at aflede al regnvandet til det nærmeste ledningssystem pga. overbelastning af det nedstrøms ledningssystem, hvorfor der fra villaområdet til afløbssystemet kun må afledes 35 l/(s·ha) . Det antages, at der ligger 600 meter ledninger i området, der i gennemsnit har en diameter på 400 mm.

Hvor mange kubikmeter vand løber op på terræn under hændelsen? Husk at medtage volumen i ledningerne i beregningen og afledningen på de 35 l/s per hektar villaområde.

Del 2:

I en ledning er der trængt nogle store rødder ind, som har gjort at ledningen har mistet

meget af sin evne til at føre vandet videre i afløbssystemet. Fordi vandet ikke kan komme videre trænger al vandet op i en brønd ved Blomsterskrænten 48 (brønd nummer 0432100).

Hvad sker der med vandet når det er gået op på terræn? Hvor løber det hen? Et hint kunne være at anvende højdekortet.

Hvis nummer 58 har en kælder, hvor der et afløb i – vil han så også opleve problemer ligesom beboeren i nummer 32? Sker det i så fald oftere, sjældnere eller er hyppigheden den samme?

Del 3:

Beboeren i nummer 32 er ret træt af, at hans modeljernbane i kælderen endnu gang er blevet oversvømmet. Han synes også, at det er lidt træls, at der i fremtiden må forventes endnu kraftigere, og oftere regnhændelser end denne i forbindelse med klimaforandringerne.

Hvordan tror du, at der gøres noget ved de øgede vandmasser?

Er det muligt at benytte sig af en slags kontrolleret oversvømmelse? Og i så fald, hvordan?

Ser du nogen tekniske muligheder for at forbedre fremtidige overlevelsesmuligheder for nummer 32's fine modeljernbane? Større rør er en forholdsvis dyr metode, men er der reelt alternativer?

Links:

OPGAVE 7: Indlandsisen smelter

Opgavestiller: ORBICON | Leif Hansen A/S, Gasværksvej 4, 9000 Aalborg,

Kontaktperson: Civ.ing., Morten Korsgaard Petersen, mkpe@orbicon.dk, mobil tlf.: 28 37 39 34

Baggrund: Forestil Jer et scenarie, hvor al indlandsisen på Grønland smelter.

Det vil ikke kun have store konsekvenser for Grønland men vil påvirke resten af verden, og det er naturligvis interessant at vide hvor meget havens vandspejl stiger, hvis det skulle ske.

Opgaven: Vi antager, at det kun er isen på Grønland - ikke Antarktis eller andre steder - der smelter. Desuden tager vi ikke højde for vandtemperaturen og de forskelligheder det kan give i vandstandsstigninger.

Du skal nu finde den gennemsnitlige vandstandsstigning ved følgende forudsætninger:

- 1) Jordens radius = 6.366 km
- 2) 70 % af jorden er dækket af vand og antages at være konstant på trods af vandstandsstigninger.
- 3) Indlandsisen dækker 1,8 mill. km² og har en gennemsnitstykkelse på 2.500 m.
- 4) Endelig antages isens massefylde at være 0,9 kg/l.

Gå efterfølgende ind på <http://flood.firetree.net/> og indsæt dit resultat.

Løsning: Resultatet skulle gerne give ca. 11,4 m vandstigning.
 $1,8E12 * 2,5E3 * 0,9 / (70\% * 4 * \pi * 6366000^2) = 11,361$

Links: -

OPGAVE 8: Regnvandsbassiner

Opgavestiller: ORBICON | Leif Hansen A/S, Gasværksvej 4, 9000 Aalborg,

Kontaktperson: Civ.ing., Morten Korsgaard Petersen, mkpe@orbicon.dk, mobil tlf.: 28 37 39 34

Baggrund: Når det regner samles den del af regnvandet, der falder på befæstede flader - tage, veje, P-pladser og lign. - i ledningssystemet.

I forbindelse med større regnskyl anvendes bassiner som en del af kloaksystemet.

Bassinerne har til formål at forsinke regnvandet, således at det efterfølgende kloaksystem (eventuelt inklusiv renseanlæg) ikke bliver overbelastet. Dermed kan der etableres mindre ledninger nedstrøms bassinerne.

Opgaven: Ved Lannerparken i Frejlev – sydvest for Aalborg - er der etableret et forsinkelsesbassin til forsinkelse af regnvand, hvilket fremgår af nedenstående udsnit af Aalborg Kommunes Spildevandsplan. En sådan plan er Kommunens planlægningsværktøj, hvor alle overordnede retningslinjer for kloakering er beskrevet.

Bassinet er markeret med B_A og fylder hele det areal der er markeret med gul farve.

- 1) Fastsæt volumen af bassinet ud fra beregning af arealet og under forudsætning af at vanddybden i bassinet er 1,5 meter og siderne i bassinet er lodrette.
- 2) Beregn hvilken vandmængde, der blev ledt til bassinet under regnskyl den 16.08.10, idet der anvendes data fra vejrradar: <http://www.forsyning.dk/FV/Kloak/Vejrradar/> under "Data fra regnmålere".

Vurder omfanget af de befæstede flader, der afleder regnvand til den del af kloaksystemet, som afleder regnvand til bassinet. Begrund din vurdering.

- 3) Beregn hvor stor en del af bassinet, der blev brugt under sidste regnskyl, når det antages at regnen faldt inden for 15 minutter, og den ledning - der afleder vand fra bassinet til det efterfølgende afløbssystem - kan føre 10 l/s.

Beregn den nedbørsintensitet, der skal falde over Frejlev i løbet af en time, hvis bassinet skal oversvømmes.



Løsning:

- 1) Areal $40 \times 60 \times 1,5 \text{ m} = 3600 \text{ m}^3$
- 2) Regnmængde den 16.08.10 : 23,6 mm; Areal: ca. $215 \times 510 = 109.650 \text{ m}^2$; befæstelsesgrad ca. 25 % (vurderes den til mellem 20 og 40 % bør det accepteres); befæstet areal: 27.412 m^2 . Regnvolumen til bassin: 646 m^3 .
- 3) Magasineret volumen: 107 m^3 ; svarende til ca. 3 % af bassinvolumenet.
- 4) Regn ved oversvømmelse: 210 mm over en time.

Links:

-

OPGAVE 9: Grundvandsforurening

Opgavestiller: COWI A/S, Thulebakken 34, 9000 Aalborg

Kontaktperson: Civ.ing., Anne Thorbjørn, antk@cowi.dk, tlf.: 99 36 77 16

Baggrund: Fokus er her på problemstillingen omkring rent drikkevand i Danmark, og hvorledes vi sikrer vores grundvandsressource mod forurening og sprøjtegifte.



Figur 1: Billeder fra håndtering af tanke og udgravning på forurenede ejendom.

Opgaven omhandler en case med en ejendom, hvor der tidligere har været benzin- og servicestation samt værksted. Der er konstateret en meget kraftig jord- og grundvandsforurening med benzin- og olieprodukter, som antages at stamme fra udsivning fra tankene og olieudskillerne.

Målinger viser, at der i det øvre sekundære grundvand er koncentrationer som angivet i tabellen:

Parameter	Målt i grundvandet på ejendommen ($\mu\text{g/L}$)	Grundvandskvalitetskriteriet ($\mu\text{g/L}$)
Totalkulbrinter (olie)	220.000	9
Benzen	99.000	1
Toluen	79.000	5

Til sammenligning er i tabellen angivet grundvandskvalitetskriterierne for de enkelte parametre. Grundvandskvalitetskriteriet gælder for grundvandsmagasiner, der bruges eller kan bruges til at hente drikkevand fra. Kriterierne bliver fastsat ud fra, at grundvandet efter en simpel vandbehandling skal kunne opfylde kravene til drikkevand. Som det fremgår, er kriterierne overskredet med op til en faktor 99.000 (benzen). Ejendommen ligger i et område med særlige drikkevandsinteresser, og grundvandsforureningen udgør således en risiko for grundvandsressourcen i området.

Opgaven:

Afhængig af fokus i opgaveløsningen indgår de naturvidenskabelige fagområder alle i større eller mindre grad.

- 1) Som optakt til selve opgaven gennemgås baggrundsmaterialet, for herigennem at opnå en basisviden omkring drikkevand og grundvand, herunder grupperingen af drikkevandsinteresser, kvalitetskriterier for grundvand, samt kilder til forurening.
- 2) Ved hjælp af Danmarks Arealinformation (<http://kort.arealinfo.dk/>) klarlægges det, hvor der i Aalborg Kommune er: a) Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD), b) Områder med drikkevandsinteresser (OD), og c) Områder med begrænsede drikkevandsinteresser (OBD). Ud fra klassens lokalkendskab til Aalborg vurderes det, om der inden for områderne med særlige drikkevandsinteresser (OSD) er forurenende aktiviteter (f.eks. benzinstationer), der kan udgøre en risiko for Aalborgs grundvand.
- 3) I casen er der tale om en ejendom, hvor der tidligere har været benzinsalg. Som nævnt antages den konstaterede forurening at stamme fra udsivning fra tankene og olieudskillere. Scenariet simplificeres her til kun at omhandle én nedgravet benzintank, hvor det antages, at der på et døgn siver 1 liter benzin ud i jorden, der fordeler sig på 1 m^2 jord. Beregn hvor meget vand, f.eks. i form af infiltrerende nedbør, der skal til for at fortynde denne ene liter benzin, så grundvandskvalitetskriteriet for benzen er overholdt, og vurder om det er realistisk, at der på et døgn kan infiltrere en sådan mængde vand.
- 4) Klarlæg de naturligt forekomne fysiske, kemiske samt biologiske faktorer og processer, der er afgørende for transporten og koncentrationen af benzin i jord og grundvand.
- 5) Klarlæg hvad der kan gøres, når grundvandet er forurennet med benzin.

Løsning:

- 1) Link til brugbart baggrundsmateriale er angivet sidst i opgaven. By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside (www.blst.dk) kan anbefales til at få et hurtigt overblik.
- 2) Gå ind på Danmarks Arealinformation (<http://kort.arealinfo.dk/>) og zoom her ind på Aalborg ved hjælp af forstørrelsesglasset. I venstre side trykkes på "Grundvand" og

der sættes flueben i "Drikkevandsinteresser". Hvis det ønskes, kan man få et luftfoto lagt ind. Dette gøres ved at klikke med musen på "Baggrundskort" og i bunden vælge "Orto foto 2008". Herved kan man zoom ind og finde f.eks. benzinstationer og andre virksomheder. Hvis man kender adressen på en potentielt forurenende virksomhed, kan man søge på denne ved at klikke med musen på "søg" i den øverste værktøjslinje, og herefter vælge "adresse". Det er vigtigt, hver gang man vælger en ny ting på siden, at man giver den tid til at opdatere. Hvis der kommer en fejlmeddelelse angående pixel, kan denne fjernes ved at gøre internetvinduet mindre.

- 3) Densiteten for benzin, $\rho = 750 \text{ g/L}$.
Benzin i regular blyfri benzin: 1,62 % (vægt/vægt), dvs. 0,0162 g benzen/g benzin .

Koncentration af benzen i 1 L benzin:

$$C_{\text{Benzen}} = 0,0162 \frac{\text{g benzen}}{\text{g benzin}} \cdot 750 \frac{\text{g benzin}}{\text{L benzin}} = 12,15 \frac{\text{g benzen}}{\text{L benzin}}$$

Mængde vand nødvendig for at overholde grundvandskvalitetskriteriet

$$\frac{C_{\text{benzen}}}{(V_{\text{Benzin}} + V_{\text{Infiltrerendevand}})} = \text{grundvandskvalitetskriteriet til benzen}$$

$V = \text{Volumen}$

$$\frac{C_{\text{benzen}}}{(V_{\text{Benzin}} + V_{\text{Infiltrerendevand}})} = \text{grundvandskvalitetskriteriet til benzen}$$

⇕

$$V_{\text{Infiltrerendevand}} = \frac{C_{\text{Benzen}}}{\text{grundvandskvalitetskriteriet til benzen}} - V_{\text{Benzin}}$$

⇓

$$V_{\text{Infiltrerendevand}} = \frac{12,15 \text{ g} \cdot 10^6 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}}{1 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}} - 1 \text{ L} = 12149999 \text{ L} \approx \underline{\underline{12150 \text{ m}^3}}$$

Dvs. på 1m² jord, skal der infiltrere ca. 12 km vand på et døgn for at fortynde den ene liter benzin tilstrækkeligt til, at det infiltrerende vand overholder drikkevandskravet for benzen.

- 4) Hvordan opgaven løses, er op til den enkelte klasse - én mulighed er at danne et overblik over processerne, og så gå i dybden med en eller flere af disse. For eksempel kan eleverne se på de enkelte jordtypers evne til at lede vand og til at absorbere benzin - og bruge dette til at vurdere forureningens spredning i en sandet og i en leret jord. En anden mulighed er at gå i dybden med de biologiske processer i jorden, og hvordan disse kan påvirke benzinkoncentrationen. Det er oplagt her, at klassen inddeles i mindre grupper, der hver især fokuserer på en proces - og derefter forelægger det for resten af klassen.
- 5) Mulige fokusområder her er: lukning af nærliggende drikkevandsboringer, rensning af drikkevandet eller afværgetiltag på den pågældende ejendom. Den sidste delopgave er meget bred og kan angribes såvel ud fra et samfundsmæssigt synspunkt (vil vi f.eks. i Danmark acceptere at rense vores drikkevand for forurening og pesticider?) som et mere teknisk synspunkt (hvilke afværge tiltag findes der, hvordan vir-

ker de konkret og hvor er de anvendelige - f.eks. virker en afværge foranstaltning bedre på en ejendom, hvor der er sandet, sammenlignet med en ejendom, hvor der er ler). Det skal være op til den enkelte klasse, hvor de lægger deres vægt.

Links:

-

8 Referencer

Nyttige links og referencer:

Det Globale miljø: <http://www.globalemiljoe.dk>

Dansk Meteorologiske Institut: <http://www.dmi.dk>

Miljøministeriet: <http://www.mst.dk>

Klimatilpasningsportalen: <http://www.klimatilpasning.dk>

Aalborg Kommune: <http://www.aalborgkommune.dk>

IPPC's klimarapport 2007: <http://www.dmi.dk/dmi/syrspmdkweb.pdf>

Aalborg Kommunes bæredygtighedsstrategi:

[http://www.aalborgkommune.dk/Om_kommunen/baeredygtig_Udvikling/Documents/Dok%20nr%202008-174266%20-%20B%C3%A6redygtighedsstrategi%202008-11\(Endelig%20udgave\).pdf](http://www.aalborgkommune.dk/Om_kommunen/baeredygtig_Udvikling/Documents/Dok%20nr%202008-174266%20-%20B%C3%A6redygtighedsstrategi%202008-11(Endelig%20udgave).pdf)

