

Statens forurensningstilsyn, SFT
Seksjon for petroleumsvirksomhet
PO Boks 8100 DEP
0032 OSLO

AVSKREVET

SFT		SAKSD.
ARKIVKODE:		
21 JAN. 2002		
2002 / 89 - 1		
TE:	TLF:	BU: X
INT:	DATO:	

**NORSK INSTITUTT
FOR VANNFORSKNING**
Vestlandsavdelingen

Adresse:
Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon 55 30 22 50
Telefax 55 30 22 51

Foretaksnr. 855869942
Internet: www.niva.no

Dykkar referanse

Marie Nordby

Dykkar brev av

Vår referanse

J.nr. V-006/02
S.nr. 971258

Dato

18. januar 2002

Søknad om løyve til midlertidig utslepp av CO₂ i Norskehavet

Vedlagt følger søknad om løyve til å utføre testar med utslepp av CO₂ på djupt vatn i Norskehavet til sommaren, som ledd i utvikling av klimateknologi i regi av NFR (KLIMATEK). Viser ellers til tidligare korrespondanse om saka, med NIVA og NFR.

Håper at søknaden er tilfredsstillande til å kunne gje oss eit snarleg svar. Ta gjerne kontakt dersom det er ønske om utfyllande opplysningar, evt eit møte om saka.

NFR sin japanske samarbeidspartner, NEDO, er svært opptatt av å få kopi av brev frå SFT som stadfester mottatt søknad, samt (så snart som råd) antydning om kor lang handsamingstid som må påreknast.

Håper derfor at eit slikt brev kan utstedast snarast.

Med helsing

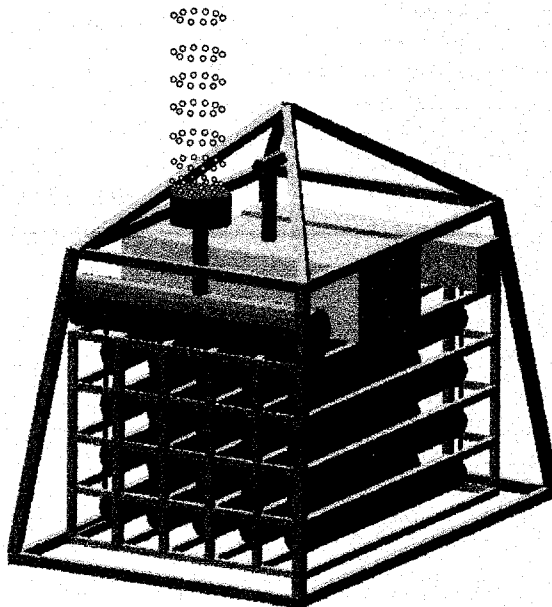
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Vestlandsavdelingen


Lars G. Golmen
prosjektleder, havlagring
Direkte linje 55 30 22 57
e-post: lars.golmen@niva.no

Vedlegg: Utslepps-søknad
cc.. NFR, v/H-R Sørheim

Handwritten notes:
- LG. 27/1.
- i Oslo 4/2. Møte i hus.
- EPA detaljplan. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 841. 842. 843. 844. 845. 846. 847. 848. 849. 850. 851. 852. 853. 854. 855. 856. 857. 858. 859. 860. 861. 862. 863. 864. 865. 866. 867. 868. 869. 870. 871. 872. 873. 874. 875. 876. 877. 878. 879. 880. 881. 882. 883. 884. 885. 886. 887. 888. 889. 890. 891. 892. 893. 894. 895. 896. 897. 898. 899. 900. 901. 902. 903. 904. 905. 906. 907. 908. 909. 910. 911. 912. 913. 914. 915. 916. 917. 918. 919. 920. 921. 922. 923. 924. 925. 926. 927. 928. 929. 930. 931. 932. 933. 934. 935. 936. 937. 938. 939. 940. 941. 942. 943. 944. 945. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956. 957. 958. 959. 960. 961. 962. 963. 964. 965. 966. 967. 968. 969. 970. 971. 972. 973. 974. 975. 976. 977. 978. 979. 980. 981. 982. 983. 984. 985. 986. 987. 988. 989. 990. 991. 992. 993. 994. 995. 996. 997. 998. 999. 1000. 1001. 1002. 1003. 1004. 1005. 1006. 1007. 1008. 1009. 1010. 1011. 1012. 1013. 1014. 1015. 1016. 1017. 1018. 1019. 1020. 1021. 1022. 1023. 1024. 1025. 1026. 1027. 1028. 1029. 1030. 1031. 1032. 1033. 1034. 1035. 1036. 1037. 1038. 1039. 1040. 1041. 1042. 1043. 1044. 1045. 1046. 1047. 1048. 1049. 1050. 1051. 1052. 1053. 1054. 1055. 1056. 1057. 1058. 1059. 1060. 1061. 1062. 1063. 1064. 1065. 1066. 1067. 1068. 1069. 1070. 1071. 1072. 1073. 1074. 1075. 1076. 1077. 1078. 1079. 1080. 1081. 1082. 1083. 1084. 1085. 1086. 1087. 1088. 1089. 1090. 1091. 1092. 1093. 1094. 1095. 1096. 1097. 1098. 1099. 1100. 1101. 1102. 1103. 1104. 1105. 1106. 1107. 1108. 1109. 1110. 1111. 1112. 1113. 1114. 1115. 1116. 1117. 1118. 1119. 1120. 1121. 1122. 1123. 1124. 1125. 1126. 1127. 1128. 1129. 1130. 1131. 1132. 1133. 1134. 1135. 1136. 1137. 1138. 1139. 1140. 1141. 1142. 1143. 1144. 1145. 1146. 1147. 1148. 1149. 1150. 1151. 1152. 1153. 1154. 1155. 1156. 1157. 1158. 1159. 1160. 1161. 1162. 1163. 1164. 1165. 1166. 1167. 1168. 1169. 1170. 1171. 1172. 1173. 1174. 1175. 1176. 1177. 1178. 1179. 1180. 1181. 1182. 1183. 1184. 1185. 1186. 1187. 1188. 1189. 1190. 1191. 1192. 1193. 1194. 1195. 1196. 1197. 1198. 1199. 1200. 1201. 1202. 1203. 1204. 1205. 1206. 1207. 1208. 1209. 1210. 1211. 1212. 1213. 1214. 1215. 1216. 1217. 1218. 1219. 1220. 1221. 1222. 1223. 1224. 1225. 1226. 1227. 1228. 1229. 1230. 1231. 1232. 1233. 1234. 1235. 1236. 1237. 1238. 1239. 1240. 1241. 1242. 1243. 1244. 1245. 1246. 1247. 1248. 1249. 1250. 1251. 1252. 1253. 1254. 1255. 1256. 1257. 1258. 1259. 1260. 1261. 1262. 1263. 1264. 1265. 1266. 1267. 1268. 1269. 1270. 1271. 1272. 1273. 1274. 1275. 1276. 1277. 1278. 1279. 1280. 1281. 1282. 1283. 1284. 1285. 1286. 1287. 1288. 1289. 1290. 1291. 1292. 1293. 1294. 1295. 1296. 1297. 1298. 1299. 1300. 1301. 1302. 1303. 1304. 1305. 1306. 1307. 1308. 1309. 1310. 1311. 1312. 1313. 1314. 1315. 1316. 1317. 1318. 1319. 1320. 1321. 1322. 1323. 1324. 1325. 1326. 1327. 1328. 1329. 1330. 1331. 1332. 1333. 1334. 1335. 1336. 1337. 1338. 1339. 1340. 1341. 1342. 1343. 1344. 1345. 1346. 1347. 1348. 1349. 1350. 1351. 1352. 1353. 1354. 1355. 1356. 1357. 1358. 1359. 1360. 1361. 1362. 1363. 1364. 1365. 1366. 1367. 1368. 1369. 1370. 1371. 1372. 1373. 1374. 1375. 1376. 1377. 1378. 1379. 1380. 1381. 1382. 1383. 1384. 1385. 1386. 1387. 1388. 1389. 1390. 1391. 1392. 1393. 1394. 1395. 1396. 1397. 1398. 1399. 1400. 1401. 1402. 1403. 1404. 1405. 1406. 1407. 1408. 1409. 1410. 1411. 1412. 1413. 1414. 1415. 1416. 1417. 1418. 1419. 1420. 1421. 1422. 1423. 1424. 1425. 1426. 1427. 1428. 1429. 1430. 1431. 1432. 1433. 1434. 1435. 1436. 1437. 1438. 1439. 1440. 1441. 1442. 1443. 1444. 1445. 1446. 1447. 1448. 1449. 1450. 1451. 1452. 1453. 1454. 1455. 1456. 1457. 1458. 1459. 1460. 1461. 1462. 1463. 1464. 1465. 1466. 1467. 1468. 1469. 1470. 1471. 1472. 1473. 1474. 1475. 1476. 1477. 1478. 1479. 1480. 1481. 1482. 1483. 1484. 1485. 1486. 1487. 1488. 1489. 1490. 1491. 1492. 1493. 1494. 1495. 1496. 1497. 1498. 1499. 1500. 1501. 1502. 1503. 1504. 1505. 1506. 1507. 1508. 1509. 1510. 1511. 1512. 1513. 1514. 1515. 1516. 1517. 1518. 1519. 1520. 1521. 1522. 1523. 1524. 1525. 1526. 1527. 1528. 1529. 1530. 1531. 1532. 1533. 1534. 1535. 1536. 1537. 1538. 1539. 1540. 1541. 1542. 1543. 1544. 1545. 1546. 1547. 1548. 1549. 1550. 1551. 1552. 1553. 1554. 1555. 1556. 1557. 1558. 1559. 1560. 1561. 1562. 1563. 1564. 1565. 1566. 1567. 1568. 1569. 1570. 1571. 1572. 1573. 1574. 1575. 1576. 1577. 1578. 1579. 1580. 1581. 1582. 1583. 1584. 1585. 1586. 1587. 1588. 1589. 1590. 1591. 1592. 1593. 1594. 1595. 1596. 1597. 1598. 1599. 1600. 1601. 1602. 1603. 1604. 1605. 1606. 1607. 1608. 1609. 1610. 1611. 1612. 1613. 1614. 1615. 1616. 1617. 1618. 1619. 1620. 1621. 1622. 1623. 1624. 1625. 1626. 1627. 1628. 1629. 1630. 1631. 1632. 1633. 1634. 1635. 1636. 1637. 1638. 1639. 1640. 1641. 1642. 1643. 1644. 1645. 1646. 1647. 1648. 1649. 1650. 1651. 1652. 1653. 1654. 1655. 1656. 1657. 1658. 1659. 1660. 1661. 1662. 1663. 1664. 1665. 1666. 1667. 1668. 1669. 1670. 1671. 1672. 1673. 1674. 1675. 1676. 1677. 1678. 1679. 1680. 1681. 1682. 1683. 1684. 1685. 1686. 1687. 1688. 1689. 1690. 1691. 1692. 1693. 1694. 1695. 1696. 1697. 1698. 1699. 1700. 1701. 1702. 1703. 1704. 1705. 1706. 1707. 1708. 1709. 1710. 1711. 1712. 1713. 1714. 1715. 1716. 1717. 1718. 1719. 1720. 1721. 1722. 1723. 1724. 1725. 1726. 1727. 1728. 1729. 1730. 1731. 1732. 1733. 1734. 1735. 1736. 1737. 1738. 1739. 1740. 1741. 1742. 1743. 1744. 1745. 1746. 1747. 1748. 1749. 1750. 1751. 1752. 1753. 1754. 1755. 1756. 1757. 1758. 1759. 1760. 1761. 1762. 1763. 1764. 1765. 1766. 1767. 1768. 1769. 1770. 1771. 1772. 1773. 1774. 1775. 1776. 1777. 1778. 1779. 1780. 1781. 1782. 1783. 1784. 1785. 1786. 1787. 1788. 1789. 1790. 1791. 1792. 1793. 1794. 1795. 1796. 1797. 1798. 1799. 1800. 1801. 1802. 1803. 1804. 1805. 1806. 1807. 1808. 1809. 1810. 1811. 1812. 1813. 1814. 1815. 1816. 1817. 1818. 1819. 1820. 1821. 1822. 1823. 1824. 1825. 1826. 1827. 1828. 1829. 1830. 1831. 1832. 1833. 1834. 1835. 1836. 1837. 1838. 1839. 1840. 1841. 1842. 1843. 1844. 1845. 1846. 1847. 1848. 1849. 1850. 1851. 1852. 1853. 1854. 1855. 1856. 1857. 1858. 1859. 1860. 1861. 1862. 1863. 1864. 1865. 1866. 1867. 1868. 1869. 1870. 1871. 1872. 1873. 1874. 1875. 1876. 1877. 1878. 1879. 1880. 1881. 1882. 1883. 1884. 1885. 1886. 1887. 1888. 1889. 1890. 1891. 1892. 1893. 1894. 1895. 1896. 1897. 1898. 1899. 1900. 1901. 1902. 1903. 1904. 1905. 1906. 1907. 1908. 1909. 1910. 1911. 1912. 1913. 1914. 1915. 1916. 1917. 1918. 1919. 1920. 1921. 1922. 1923. 1924. 1925. 1926. 1927. 1928. 1929. 1930. 1931. 1932. 1933. 1934. 1935. 1936. 1937. 1938. 1939. 1940. 1941. 1942. 1943. 1944. 1945. 1946. 1947. 1948. 1949. 1950. 1951. 1952. 1953. 1954. 1955. 1956. 1957. 1958. 1959. 1960. 1961. 1962. 1963. 1964. 1965. 1966.

**Søknad til Statens forurensningstilsyn (SFT)
om løyve til eksperimentelt utslipp
av karbondioksid (CO₂)
på dypt vann i Norskehavet**



INNHOOLD

SAMMENDRAG	3
SUMMARY	6
1. BAKGRUNN OG FORMÅL MED EKSPERIMENTET	8
Bakgrunn for eksperimentet	8
Formål med prosjekt og utslipp	8
2. STED OG TID	9
Tid for eksperimentet	9
Sted	9
3. UTSLIPPSMENGDER OG METODE	9
4. MILJØFORHOLDENE I OMRÅDET	11
5. BIOLOGISKE FORHOLD	14
Fiskeressurser	14
Bunnorganismer	17
6. DATASIMULERINGER FOR UTSLIPPENE	19
7. FORVENTET MILJØRISIKO	21
8. PROGRAM FOR MÅLINGER OG OVERVÅKING	24
9. KRITERIER FOR GJENNOMFØRING OG BEREDSKAP	26
Sikkerhet om bord i båtene	26
Kriterier for utsettelse eller avbryting av forsøket	26
10. RAPPORTERING	27
VEDLEGG A	
BESKRIVELSE AV CO ₂ HÅNDTERINGEN UNDER FELTEKSPERIMENTET	28
VEDLEGG B BØLGESTATISTIKK (VENTETIDER)	35
VEDLEGG C HYDROGRAFI FOR JULI OG AUGUST	37
VEDLEGG D BLØTBUNNSFAUNA	38
VEDLEGG E DATASIMULERINGER	39
VEDLEGG F MÅLEPROGRAM FOR EKSPERIMENTET	42

Sammendrag

Søknad til Statens forurensningstilsyn (SFT) om løyve til eksperimentelt utslipp av karbondioksid (CO₂) på dypt vann i Norskehavet

På vegne av Norges forskningsråd og en internasjonal gruppe institusjoner planlegger NIVA (Norsk Institutt for Vannforskning) et eksperimentelt utslipp av CO₂ i Norskehavet (nordvest for Storegga). Utslipet blir 5,4 tonn rein CO₂ og er planlagt å foregå over ca 10 dager innfor tidsrommet 22 juli -11 august (uke 30-32), 2002. Utslipet vil skje like over havbunnen, på 800 meters dyp. Eksperimentet er motivert ut fra myndighetenes behov for økt kunnskap om havlagring av CO₂ som klimatiltak og herunder om kjemiske, fysiske og biologiske effekter fra utslipp av CO₂ i havet. I framtida vil slik havlagring kunne bli nødvendig for å redusere økningen av CO₂ i atmosfæren.

Søkeren

Søkeren er NIVA - på vegne av Norges forskningsråd og en internasjonal forskningsgruppe bestående av:

- AIST, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
- CRIEPI, Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan
- CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
- HPU, Hawaii Pacific University, USA
- IOS, Institute of Ocean Sciences, Canada
- KU, Kyoto University, Japan
- MIT, Massachusetts institute of Technology, USA
- NERSC, Nansensenteret, Norge
- NIVA, Norsk institutt for vannforskning, Norge
- PICHTER, Pacific International Center for High Technology Research, USA
- RITE, Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Japan
- UH, University of Hawaii, USA
- UiB, Universitetet i Bergen, Norge

Disse institusjonene er støttet av myndighetene i de respektive land; Department of Energy (DOE) i USA, New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) i Japan, National Research Council (NRC) Canada, Norges forskningsråd (NFR) i Norge, CSIRO i Australia samt ABB Corporate Research i Sveits. Avtalen om å planlegge og utføre eksperimentet ble gjort under IEA/OECD Climate Technology Initiative og signert på COP-3 i Kyoto i desember 1997.

Tid og sted for utslipp

Det planlagte utslippet vil vare i ca 10 dager innfor de tre ukene 30-32, 2002, som det er søkt for. Resten av tiden vil gå med til mobilisering, demobilisering og ventetid i tilfelle dårlig vær.

Utslipet vil finne sted ca 75 nautiske mil NV for Kristiansund, innfor et avgrenset område med koordinatene 63° 20' - 63° 55' N / 05° 10' - 05° 40' Ø (se kart)

Hva og hvor mye vil slippes ut

Det er planlagt 10 eksperimentelle utslipp like over havbunnen fra en nedsenkbar utslippsenhet med CO₂ beholdere. Hvert utslipp tilsvarer maksimalt 540 kg rein CO₂, og vil

pågå i maksimalt 2 timer med påfølgende målinger og overvåking i sjøvannet og på bunnen i nærheten. Fluksen av CO₂ vil bli variert mellom 0,1 kg/s og 0,3 kg/s. Utslippsenheten består av velkjent teknologi og inneholder 20 CO₂ beholdere som blir fylt med CO₂ ombord i et deltakende supplyskip og deretter senket ned på havbunnen før hvert utslipp. Gassutslippet reguleres etter behov med ventiler som kan fjernstyres fra overflaten og/eller styres mekanisk fra en ROV. Det vil foregå ett eller to utslipp pr. dag. Hvert utslipp vil bli nøye overvåket under og etterpå med observasjoner av CO₂ dråper, av skyen med CO₂-anrikt sjøvann og miljøet rundt.

Bakgrunn for utslippene

Det er økende bekymring hos myndighetene for at stigende CO₂ nivå i atmosfæren fra brenning av olje, kull og gass vil forårsake klimaendringer og ødeleggelser både på miljø og eiendom. Klimaendringer er sannsynligvis allerede i ferd med å skje, og et stadig økende forbruk av fossilt brensel tilsier at det må handles raskt hvis vil skal klare å redusere virkningene.

Havlagring av CO₂ betraktes som en mulig måte å bremse klimaendringer ved først å fange CO₂ gass fra store stasjonære utslipp slik som varmekraftverk og deretter injisere og oppløse den i havdypet. På denne måten vil CO₂ holdes borte fra atmosfæren for en periode på 1.000 år eller mer. Flere steg må taes for å forbedre forståelsen av denne lagringsteknologien - fra tester på liten skala til stor skala. Eksperimentet som vi søker løyve om å utføre, utgjør banebrytende arbeid på liten skala ved å sammenhengende slippe ut begrensede mengder CO₂ i havet for så å studere oppførselen til CO₂ mens den oppløses og fortynnes i vannet.

Resultatene fra eksperimentet vil bidra til å dokumentere hvorvidt havlagring av CO₂ vil kunne bli en levedyktig og bærekraftig klimateknologi både når det gjelder miljøpåvirkning og teknisk/økonomisk implementering. Siden CO₂ også kan lekke ut i havet i samband med olje/gass-virksomhet, vil eksperimentet også gi nyttig informasjon om hvilke effekter dette har på miljøet, og bakgrunn for å sette i verk avbøtende tiltak.

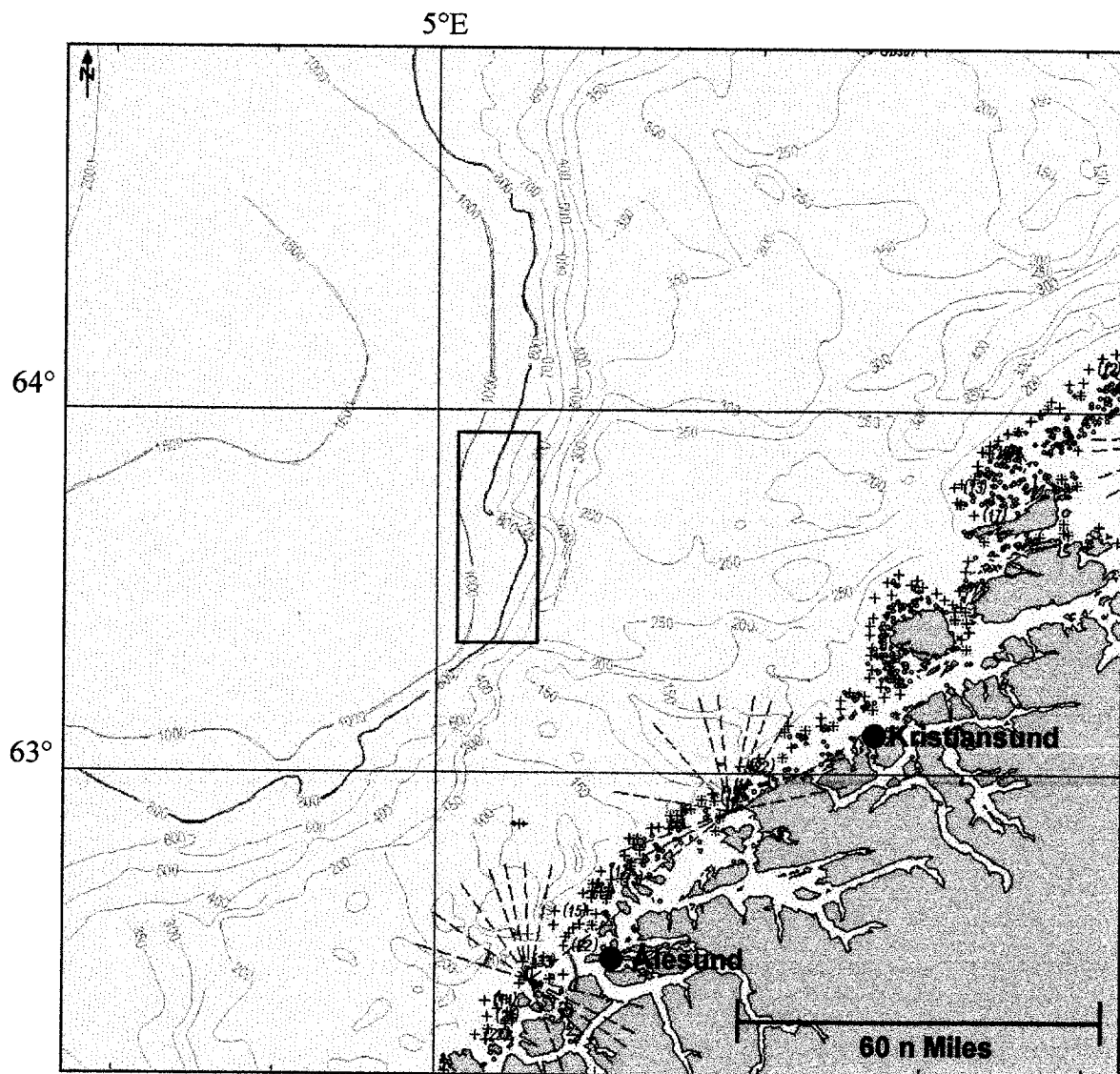
Miljømessige effekter av utslippet

Når CO₂ injiseres i havet under forsøket vil en sky (plume) av dråper og CO₂ - anrikt vann bli dannet. Datasimuleringer viser at skyen vil nå en maksimum stighøyde på 100 meter fra utslippet på bunnen før den driver avgårde fra utslippspunktet med havstrømmene og oppløses fullstendig. Dråpeskya, havbunnen og vannet rundt vil bli nøye registrert gjennom et spesielt tilrettelagt og avansert observasjonsprogram. Det kan forventes en viss forandring i vannets kjemi – slik som lavere pH-verdi, i nærheten av utslippsstedet. Datasimuleringer og laboratoriestudier har gitt grenseverdier for korttidseksposering overfor lav pH for forskjellige sjøvannsorganismer. Disse viser at det vil være minimale, viss noen, effekter av utslippet. Det inngår likevel i eksperimentet å forsøke å lære noe om slike effekter.

Etter at eksperimentet er avsluttet vil alt utstyr som har vært benyttet bli fjernet fra havbunnen, med mulig unntak av noen få, små ankervekter av jern.

Tilgjengelighet og formidling av resultater

Deltakerne i dette internasjonale prosjektet vil dele resultater og erfaringer seg imellom, og data vil bli publisert i internasjonale vitenskapelige tidsskrift. Datamodeller vil bli forbedret for å kunne gi bedre prognoser for effektivitet og effekter av en framtidig storskala havlagring av CO₂. Resultatene vil gi input til tekniske forbedringer av utslippsarrangementer.



Kart over sørøstlige del av Norskehavet utenfor kysten av Møre og Romsdal. Gassfeltet "Ormen Lange" ligger i dette området. Det omsøkte eksperimentet vil finne sted på et lite område innenfor den avmerke firkanten. Dybder i meter.

Map over the Sout-Eastern part of the Norwegian Sea outside of Møre og Romsdal county. The experiment site will be located at 800 m depth inside the square, which is in the area of the Ormen Lange gas field. Depths are in metres.

Summary

Application to SFT (Norwegian Pollution Control Authority) for permission to carry out an experimental release of CO₂ (Carbon dioxide) in deep waters in the Norwegian Sea.

On behalf of the Norwegian Research Council and an international group of organisations, NIVA, The Norwegian institute for water research, is planning an experimental release of carbon dioxide in the Norwegian Sea (west of the Storegga) during the period 22 July-11 August (weeks 30-32), 2002. The release of 5,4 tons of pure CO₂ will be from the ocean floor at a depth of 800 m. The experiment is motivated by the need for increased knowledge about the chemical, physical, and biological effects of releasing carbon dioxide in seawater. In the future, CO₂ may have to be released and dissolved in the deep ocean in order to reduce CO₂ build-up in the atmosphere.

Applicant

The applicant for the release is NIVA, the Norwegian institute for water research, on behalf of The Norwegian Research Council and an international scientific group that consists of

- AIST, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
- CRIEPI, Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan
- CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
- HPU, Hawaii Pacific University, USA
- IOS, Institute of Ocean Sciences, Canada
- KU, Kyoto University, Japan
- MIT, Massachusetts institute of Technology, USA
- NERSC, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Norway
- NIVA, the Norwegian institute for water research, Norway
- PICHTER, Pacific International Center for High Technology Research, USA
- RITE, Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Japan
- UH, University of Hawaii, USA
- UoB, University of Bergen, Norway

Each organisation is sponsored by governmental funding bodies in the respective countries; Department of Energy (DOE) in the USA, New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) in Japan, National Research Council (NRC) of Canada, Norwegian Research Council (NFR) in Norway, ABB Corporate Research in Switzerland and CSIRO in Australia. The agreement to plan and perform the joint experiment was formed under the IEA/OECD Climate Technology Initiative and signed at COP-3 in Kyoto in December, 1997.

Time and place for the releases

The planned release will last ca 10 days within the 3 weeks time frame applied for. The extra time is for mobilisation, demobilisation and waiting time in the case of bad weather.

The release site will be located ca 75 n miles NW of Kristiansund. The site will be located within a small area specified by the co-ordinates (see map)

63° 20' – 63° 55' N
05° 10' – 05° 40' E

What and how much will be released

10 experimental releases are planned, each comprising no more than 540 kg CO₂. Each release will last for maximum 2 hours. Momentary fluxes of CO₂ will be adjusted according to the limits 0.1 kg/s (minimum) and 0.3 kg/s (maximum). The release platform is a well-proven unit containing 20 CO₂ canisters that are charged with CO₂ on board the supply vessel and then lowered to the seabed prior to each release. Valves that can be operated both remotely from the sea surface and mechanically by a ROV are controlling the release of the gas. There will be one or two releases per day. Each release will be accompanied and followed by careful monitoring, measurements and observations of the CO₂ droplets and the plume of CO₂ enriched seawater.

Basis for the releases

There is growing concern that increased CO₂ levels in the atmosphere from burning of fossil fuels such as coal, oil and gas will cause climate change and severe damage to both property and the environment. Such damage is probably already taking place and projections of fossil fuel consumption strongly indicates that actions need to be taken very soon in order to reduce the emissions to the atmosphere.

Ocean sequestration of CO₂ is considered a possible method to mitigate climate change, by first capturing the CO₂ gas from large stationary sources such as power plants and then injecting and dissolving it in the deep ocean. In this way, the captured CO₂ remains away from the atmosphere for 1.000 years or more. Several steps need to be taken in order to better understand this technology, from small scale to large scale tests.

The experiment as applied for, constitute pioneering work on the local scale to continuously release small amounts of CO₂ into the seawater in order to study behaviour of the gas before it is completely dissolved and diluted in the water. This study will also bring new insight into the fate of spurious seeps and leaks of CO₂ from the seabed either naturally or from oil and gas developments.

Environmental effects of the releases

When CO₂ is injected into the ocean during the experimental release, a plume of droplets and CO₂ enriched water will be formed. Computer simulations show that the plume will have a maximum rising height of 100 m before it is dissolved and carried away from the release point by the prevailing ocean currents. Through a carefully designed observational programme the physical behaviour of the droplets and the plume will be recorded and analysed. Some change in the seawater chemistry such as lowered pH as the seawater becomes acidic is expected to take place near the release point. Laboratory studies have provided limits of tolerance of various seawater species versus pH. Computer simulations for the experimental releases we plan in this experiment show that there will be no significant biological impacts. However, exposure to low pH for an extended time period may affect animals in the vicinity of the plume and it is also an objective of the experiment to observe and learn about such effects.

All materials and pieces of equipment that will be deployed at the experiment site will be recovered after the experiment, except possibly for some small mooring weights (iron).

Accessibility and dissemination of results

Results will be shared among the partners to the international project. Data will be published in international peer-reviewed journals. Computer models will be improved in order to be able to provide better projections on the efficiency and impacts from future large scale CO₂ ocean sequestration. The final evaluations of results from the experiment will help to document whether CO₂ ocean sequestration may become a viable future climate technology both in terms of environmental impact and technological feasibility.

SØKNAD TIL STATENS FORURENSINGSTILSYN (SFT) OM LØYVE TIL EKSPERIMENTELT UTSLIPP AV KARBONDIOKSID (CO₂) PÅ DYPT VANN I NORSKEHAVET

1. Bakgrunn og formål med eksperimentet

Studier av havlagring av CO₂ har hittil vært utført teoretisk og i laboratoriet. Videre utvikling av denne klimateknologien vil kreve reelle tester og forsøk med CO₂ i havet. Denne søknaden innebærer et slikt forsøk, med utslipp av til sammen 5,4 tonn flytende CO₂ på 800 m havdyp.

Bakgrunn for eksperimentet

Idéen om å fange opp og innlagre industriell CO₂ i dyphavet som et framtidig klimatiltak oppstod på 1970-tallet og ble aktualisert utover i 1990-åra. Dyphavet har kapasitet til å absorbere og lagre store mengder CO₂. Det er gjort beregninger som sier at minst 1.000 GtC kan lagres der i 1.000 år uten nevneverdige miljøeffekter. Dette tilsvarer det meste av samlede projiserte utslipp globalt for de neste 50-100 åra. Mange vitenskapelige utredninger har på bakgrunn av dette pekt på at metoden med havlagring kan bli svært viktig i framtida som et tiltak for å redusere drivhuseffekten, men sier samtidig at både effektivitet og miljøeffekter må utredes nærmere også gjennom realistiske forsøk.

CO₂ er ikke noe fremmedstoff i havet, men inngår som en naturlig og essensiell del av det biologiske og geokjemiske kretsløpet på jorda. Hver kubikkmeter havvann har oppløst ca 2 mol CO₂ (ca 90 gram) og har evne til å absorbere mange ganger mer CO₂ enn dette. Havet oppløser allerede store mengder antropogent CO₂ fra atmosfæren, men mest i overflatelaget. Dersom utslippene av CO₂ til atmosfæren fortsetter uten mot-tiltak, vil dyphavet på lang sikt få økt CO₂ innholdet uansett, på grunn av den kontinuerlige, men langsomme vertikalutvekslingen av vann.

Med støtte fra Norges forskningsråd gjennom KLIMATEK deltar NIVA i et internasjonalt prosjekt om havlaring av CO₂. MIT (USA), RITE (Japan), IOS (Canada) og CSIRO (Australia) var de opprinnelige institusjonelle samarbeidspartene. Samarbeidsavtalen ble undertegnet i Kyoto i desember 1997, med MD/NFR som signatar for Norge. Siden har flere andre institutter kommet til, inkludert Nansensenteret og UiBergen.

Havlagring kan bli en opsjon for norske utslipp f.eks. på sokkelen eller fra gasskraftverk. Hittil har undergrunns deponering vært ansett som en mer realistisk metode der. Men dette krever gjerne langt større nedpumpingsflukser enn fra noen få kilder, i alle fall viss CO₂-en skal nyttes som trykkstøtte eller til å utvinne mer olje. Jmfør utsagn på NFRs CO₂-workshop i Oslo, 15. januar, 2001. Derfor kan havlagring framstå som et mer tilpasningsdyktig alternativ der tilstrekkelig dypt hav er innen rekkevidde. Det spekuleres også på om CO₂ deponert i undergrunns reservoarer kan begynne å lekke opp og ut over tid. For reservoarer under havbunnen vil CO₂ i så fall lekke ut i overliggende sjøvann. Utslippene og forsøkene med CO₂ som denne søknaden innbefatter, vil også kunne gi svar på spørsmål om miljøeffekter av slik eventuell utlekking.

Formål med prosjekt og utslipp

Målet med det internasjonale prosjektet er å skaffe dokumentasjon på hvor egnet metoden for dypvannsinjeksjon av CO₂ i havet er på basis av vurderinger av

- Teknologi/løsninger,
- Effektivitet i forhold til teknologiske alternativer,
- Miljøkonsekvenser, spesielt i nærsone til et CO₂ utslipp.

Måloppnåelse skal skje gjennom teoretiske studier, teknologistudier, modellsimuleringer og viktigst: utførelse av in-situ felt-eksperiment på dypt vann gjennom et tett samarbeid mellom de deltakende institusjoner og andre partnere/underleverandører.

Formålet med det omsøkte utslippet i Norskehavet er å besvare spørsmål i tilknytting til alle tre punktene, men spesielt relatert til siste punkt (studium i nærsone). I tillegg kan det som nevnt framskaffes data som kan være relevant i forbindelse med andre lekkasjer av CO₂ gass fra havbunnen, enten naturlig eller i samband med boring eller utvinning av olje/gass.

2. Sted og tid

Tid for eksperimentet

For å få utført eksperimentet er vi avhengige av rimelig bra vær. D.v.s. bølgehøyder under 2m, max 3 m, vedvarende. Derfor er det kun i sommerhalvåret at det er realistiske forhold (se avsnitt om vær og bølger). Det må skje en del detaljplanlegging from mot eksperimentet, og derfor er det ønskelig å legge dette til sent på sommeren. Fellesferien kan medføre vansker m.h.t. personell og defoe r det gunstig å velge tidspunkt etter denne. Den valgte perioden er heller ikke i konflikt med miljø eller ressurser.

Vi har derfor valgt tidsvinduet uke 30-32, 2002. Selve eksperimentet vil ikke vare mer enn 10 dager, men det må beregnes ekstra tid til overfart, tilrigging og fjerning av utstyr, samt noe slakk i forhold til venting p.g.a. vær, og uforutsett.

Selve utslippene av CO₂ vil foregå i 10 korte perioder hver av max 2 timers varighet.

Sted

Området som er valgt, ligger innenfor koordinatene 63° 20' – 63° 55' N/ 05° 10' – 05° 40' E i sørøstlige del av Norskehavet, inn mot Storegga. Området er avmerket i kartet foran i søknaden.

Det er flere grunner for å velge dette området. Det er nærmeste sted fra norskekysten med 800 m vanddyp. Området er godt kartlagt i samband med planlagt gassutvinning (Ormen Lange feltet). Det eksisterer gode data for bunnforhold og sedimenter, for strømforhold og for hydrografi m.m.

I løpet av detaljplanleggingen framover våren 2002, vil en mer eksakt posisjon bli utpekt, der selve eksperimentet vil foregå. Det vil dreie seg om et svært lite område, med radius på 50 meter for selve utslippet, og en radius på 0,5-1 km for målinger.

3. Utslippsmengder og metode

Utslippsmetode

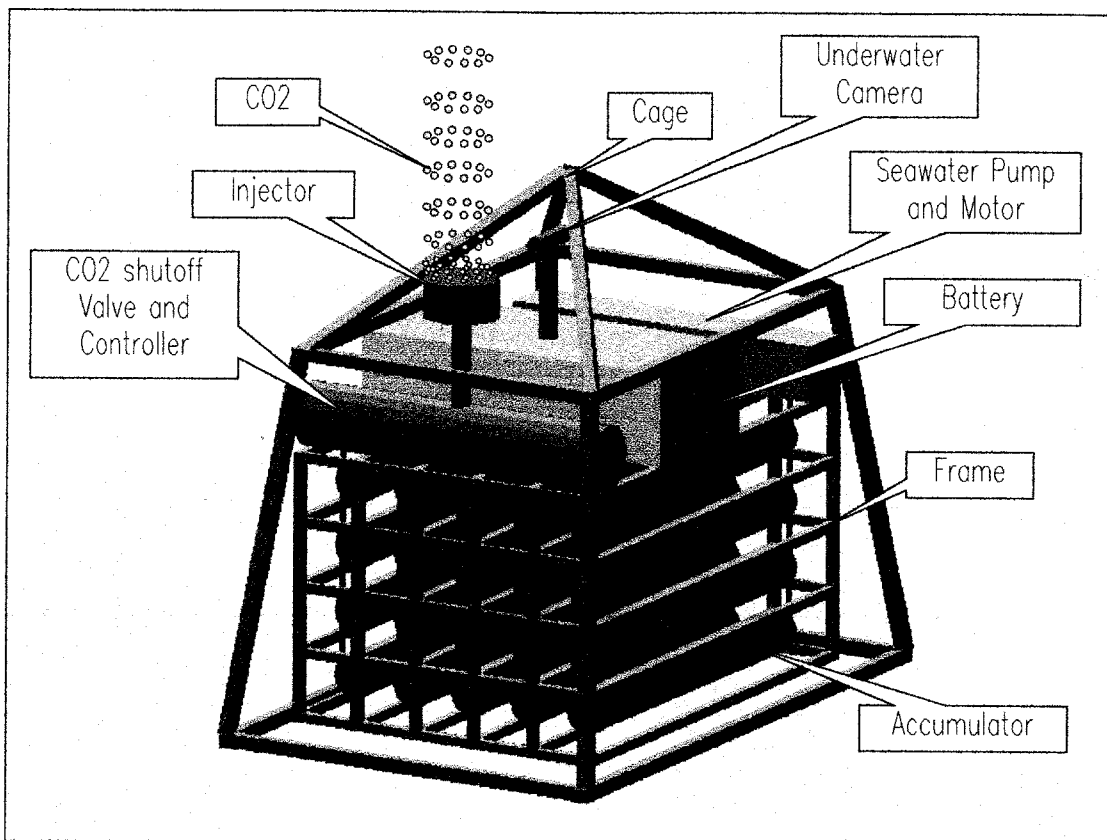
CO₂ gassen overføres fra en stor lagertank om bord i supplyskipet til 20 mindre CO₂ tanker på utslippsenheten. Hver av disse 20 tankene tar 15 Gallons (ca 60 l). Men disse tankene vil ikke tømmes helt, bare til ca 50%. Derfor blir max. utslipp pr gang 540 kg.

CO₂ felteksperimentet vil bli gjennomført som følger:

- 1) Forsyningsfartøyet legges i stasjonær posisjon som er merket med transpondere på bunnen
- 2) CO₂ overføres fra stor lagringstank til beholderne i CO₂ -enheten
- 3) CO₂-enheten senkes ned og plasseres på havbunnen i posisjon

- 4) CO₂-utslipp gjennomføres ihht. planlagte testforhold, og observasjonsprogrammet gjennomføres
- 5) Nedstenging av CO₂-enheten
- 6) Opphenting av CO₂-enheten fra bunnen
- 7) CO₂ overføres fra lagringstanken om bord til CO₂-enheten for neste forsøk

Detaljert omtale av CO₂ enheten og prosedyrer om bord er gitt i VEDLEGG (A)



Skisse over den spesial-lagde riggen/enheten som settes på bunnen der CO₂ vil bli sluppet ut fra.

Utslippsmengder

Total vil det bli sluppet ut 5,4 tonn CO₂. Dette vil være industrielt framstilt CO₂ ment for konsum m.m.. Dette er rein CO₂, d.v.s. fri for andre komponenter som kunne forstyrre eksperimentet og også ha utilsiktede miljøvirkninger. Gassen vil være flytende, siden det er i den formen CO₂ naturlig vil opptre under de trykk-og temperaturforhold som råder på dypt vann i havet (under ca 500 m dyp). Egenvekten av flytende CO₂ er litt mindre enn for vann.

Utslippene vil fordeles over 10 eksperimenter, hvert med 540 kg CO₂. Utslippsfluksen vil bli variert fra under 0,1 kg/s til 0,3 kg/s. Dette gir samlet varighet for hvert eksperiment fra ca 1/2 time til ca 2 timer. Dyse-diameter vil også bli variert, ved at en skifter dysehode på utslippsenheten.

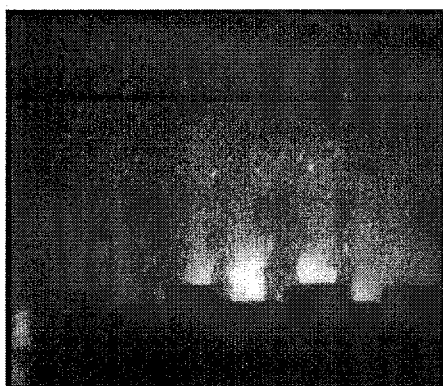
Figuren under (fra tank-tester) syner hvordan CO₂ dråpene vil ta seg ut akkurat når de forlater dysene.



**5 mm dyse
Stort utslipp**



**5 mm dyse
Lite utslipp**



**2 mm dyse
Stort utslipp**



**2 mm dyse
Lite utslipp**

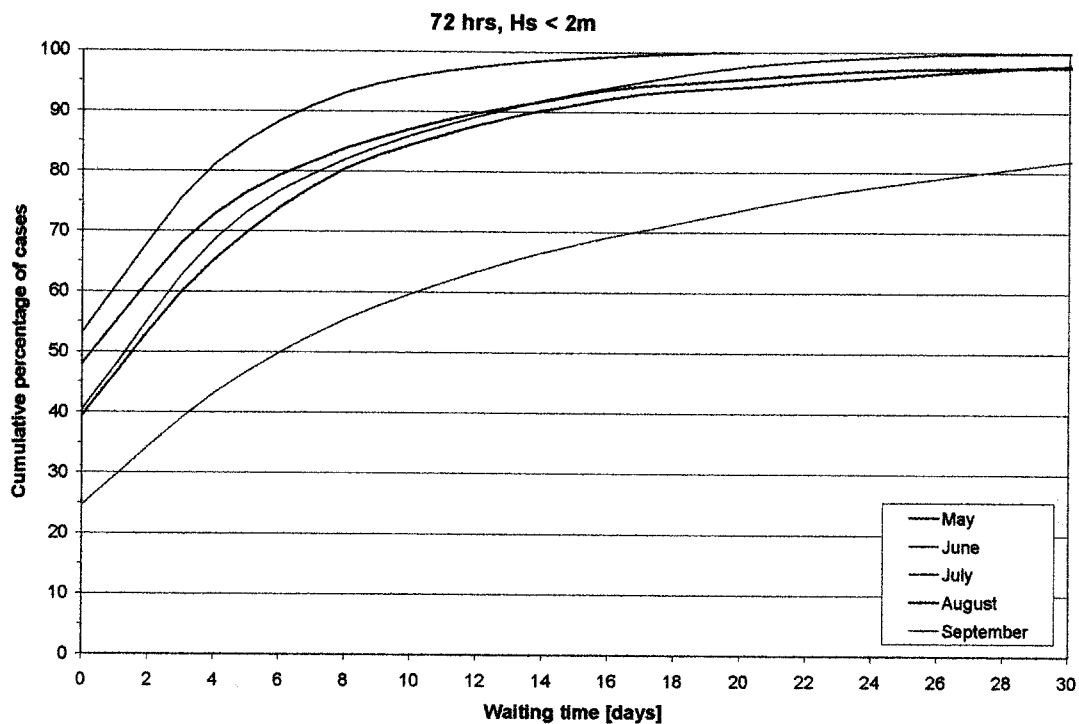
Fotografier av dråper av flytende CO₂ som er sluppet ut i en eksperiment-tank. Dråpene stiger langsomt oppover mens de oppløses. Dysehodet likner det som vil bli brukt i Norskehavet.

4. Miljøforholdene i området

Vær og bølgeklima

Værforholdene vil skrive bruk av fartøy som kan operere i 2-3 m bølger uten avbrudd. Sommerstid er det normalt ikke problem med å få sammenhengende perioder som tilfredsstiller dette kriteriet. Men det kan også da komme sterkere vind og bølger som overskrider disse verdiene, men disse er da oftest av kort varighet.

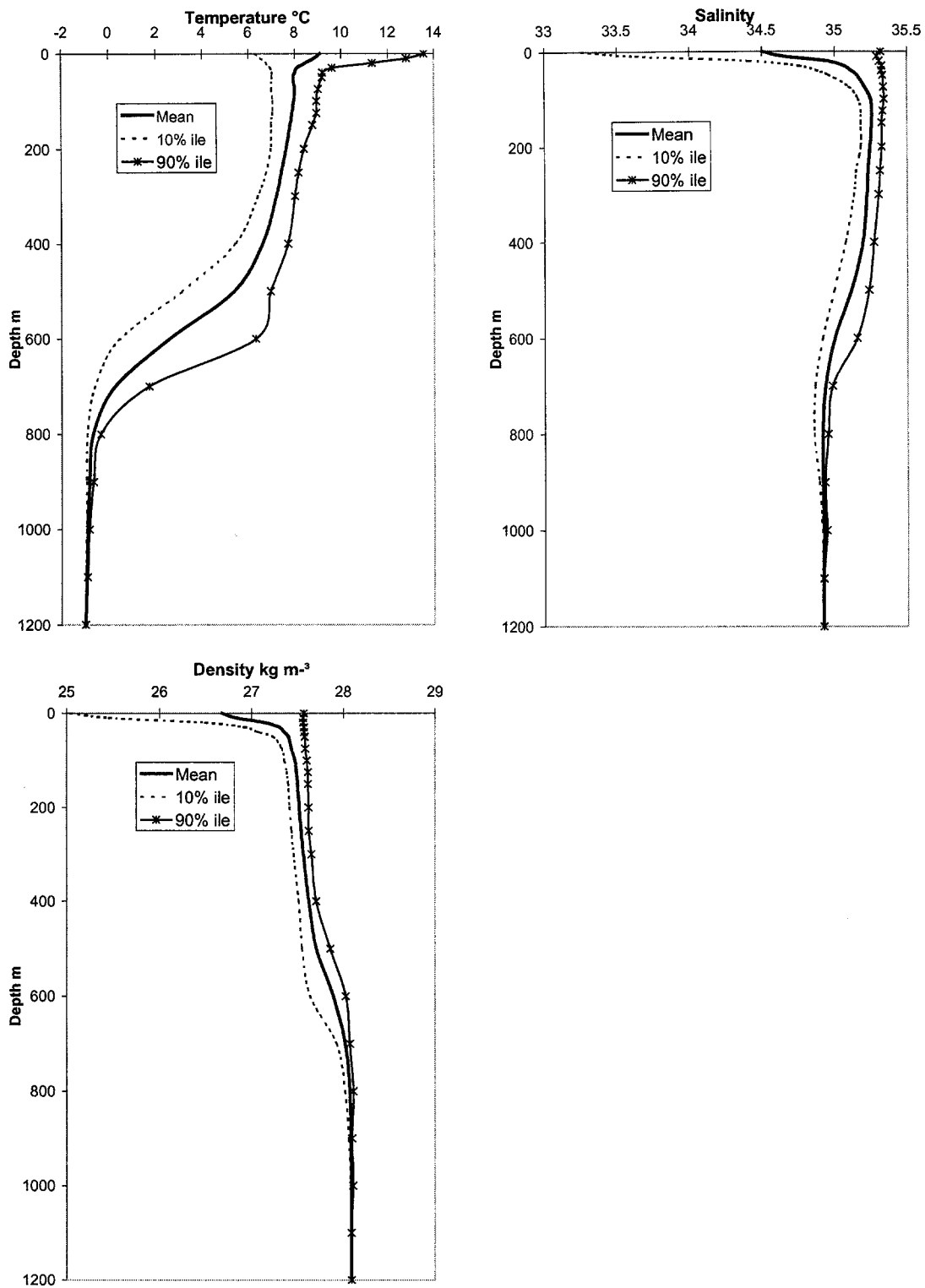
DNMI/VpV har gjort inngående analyser for oss når det gjelder bølgestatistikk. I tillegg har vi fått innspill fra Statoil på dette. Oversikter er gitt i VEDLEGG B. Figuren viser statistikk for beregnet ventetid i sommermånedene for noen bølgehøyder som ikke må overskrides.



Bølgestatistikk, d.v.s. ca 50 års statistikk for beregnet ventetid for sammenhengende 3 døgns operasjon med bølgehøyde vedvarende < 2m, for sommermånedene. Tilsvarende beregninger for perioden 1995-2000 ga bedre statistikk (mindre ventetid).

Hydrografi

Sjøvannet i 800 m dyp har temperatur på rundt minus 0,7 °C, men kan variere mellom -0,3 og -0,9 °C. Saliniteten kan variere mellom 34,85 og 34,91 (se figuren). Det dreier seg m.a.o. om svært stabile forhold såpass dypt nede. VEDLEGG C viser tilsvarende data for sommermånedene.



Vertikalfordeling av temperatur, salinitet og densitet (σ_t) i sjøen i det omsøkte utslippsområdet. Profilene syner h.h.v. middelveidier i de forskjellige dyp, samt minimum (10-percentil) og maksimum (90 percentil).

Strømforhold

Strømmålinger fra Ormen Lange området har vist at det kan være perioder med sterk strøm (over 0.5 m/s) ned til få meter over bunn. Slike hendelser ser ut til å være knyttet til episoder med svingninger i grenseflaten (på 400-600m dyp) mellom varmt atlantisk vann og kaldere dype vannlag, spesielt når vindforhold presser det varme atlantiske vannet ned mot større dyp.

På 800m forventes en mer stabil situasjon med moderate svingninger både i temperatur (se avsnittet om hydrografi) og strøm. Det foreligger modeller som kan predikere strømmen, og disse vil bli benyttet under detaljplanleggingen og utførelsen av utslippet.

Topografi og sedimenter

Det aktuelle området er karakterisert av ujevn og til dels bratt topografi mange steder. I dybder rundt 800 m er hellingsgraden variabel, men med typisk middel på 4-5 grader. Det finnes flate områder av flere kilometers utstrekning innimellom rygger og forhøyninger med noen ti-talls meters høyde. Det foreligger svært gode kart over bunntopografien som vil være til stor hjelp under utvelgelse av eksakt eksperiment-punkt. Bunnstrukturen er vekslende fra berg til områder med sand/silt og leire.

5. Biologiske forhold

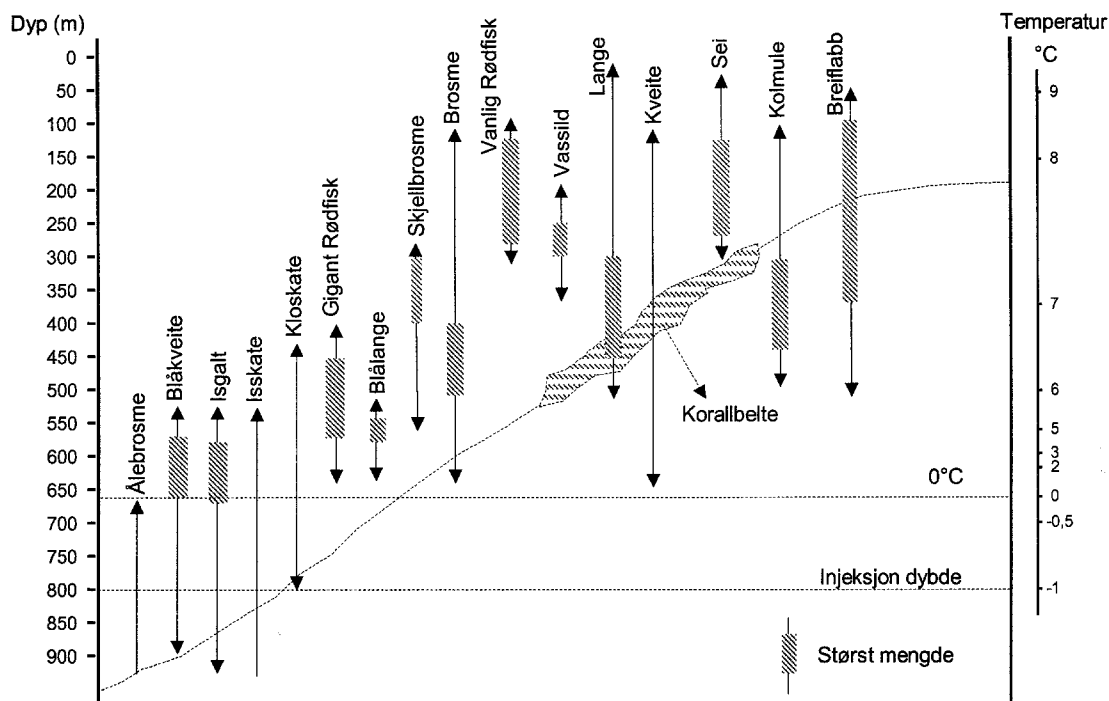
CO₂ som slippes ut, vil spres langs eller nær bunnen, i følge de teoretiske simuleringene (se påfølgende kapittel). Det forutsettes at ikke noe CO₂ vil stige høyt opp i sjøen. Dersom observasjoner viser at dette likevel skjer, vil utslippet bli stanset og forsøksoppsettet justert.

Det er på denne bakgrunn lagt vekt på kartlegging av bunnlevende organismer og fiskeressurser i området, dels som bakgrunn for å velge overvåkningsstrategi og dels for evt å styre unna områder eller tidsperioder som kan være ugunstige miljømessig sett.

Fiskeressurser

Dybdeutbredelse

Den vertikale utbredelsen av fiskeartene i kontinentalskråningen i Storegga er i stor grad bestemt av temperaturforholdene. Det kalde bunnvannet i Norskehavet som ligger under Golfstrømmen på 550 m og dypere hindrer tempererte arter slik som brosme (*Brosme brosme*), blålange (*Molva dypterygia*), lange (*Molva molva*), skjellbrosme (*Phycis blennoides*) og uer (*Sebastes marinus*) å gå dypere enn 600 meter.



Figur 1 Dybdeutbredelse av de viktigste fiskeartene i Storegga. Vertikalutbredelsen er mest temperatur-bestemt. Bare noen få arter kan trekke dypere enn 800 m.

Dypere enn 650 meter finner en kun arktiske arter som kan leve i temperaturer lavere enn 2° C slik som blåkveite (*Reinhardtius hippoglossoides*), isgalt (*Macrourus berglax*), isskate (*Raja hyperborea*) og ulike arter av ålebrosmes (*Zoridae spp.*)

Blåkveite, isgalt og isskate har størst konsentrasjon mellom 550 meter og 670 meter i temperaturer mellom 3° og 0° C. Ålebrosmene lever i vann mellom 0,5° og -1,5° C, altså dypere enn 650 meter.

Gyting

De fleste fiskeartene som er vist i Figur 1 gyter i Storegga. Gytetidspunktet er vist i Tabell 1. Av de viktige artene er det bare isgalt og blåkveite som gyter dypere enn 550 meter. Blåkveita gyter i Storegga området i perioden desember til juni. Hovedgytingen foregår i midten av desember. Egg og larvedrift er lite kjent, men man tror at eggene flyter opp i overgangslaget mellom det kalde bunnvannet og Norskehavsstrømmen og at eggene driver nordover med denne. Man regner ikke med at blåkveita gyter i vann kaldere enn 0° C.

Tabell 1 Gyteperioder for de viktigste artene i Storegga.

Art	Latinsk navn	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Blåkveite	<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	x	x	x	x	x	x						x
Blålange	<i>Molva dypterygia</i>				x	x	x						
Brosme	<i>Brosme brosme</i>			x	x	x							
Isgalt	<i>Macrourus berglax</i>	x	x	x	x	x							
Kveite	<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	x	x										x
Lange	<i>Molva molva</i>				x	x	x						
Skjell brosme	<i>Phycis blennoides</i>			x	x	x							
Sei	<i>Pollachius virens</i>		x	x									

Fiskeriaktivitet

Utslippsområdet ligger nær opptil det viktige fiskeriområdet Storegga. Her foregår det fiske med line og garn. Trålfisket blir drevet kun oppe på kontinentalsokkelen på grunn av bunnforholdene.

De viktigste artene er lange, brosme og blålange. Fisket foregår fra eggakanten og ned til 550 meter. For å hindre brukskollisjoner mellom redskapsgruppene har det blitt etablert en sone der det ikke er lov å fiske med garn mellom 1. september og 1. mai (Figur 2). I denne perioden blir det drevet linefiske. Garnfisket blir drevet i perioden 1. mai til midt i juli. De mest aktive fiskeperiodene er Januar – Mai (line) og Mai – Juli (garn). Etter juli er det forholdsvis lite aktivitet i dette området.

Dypere enn 600 meter blir det kun drevet fiske etter blåkveite. Dette fisket er åpent bare mellom 10. juni og 10 juli, og bare for line og garnfartøy under 28 meter. I praksis betyr det at det ikke skal forekomme noen form for fiskeaktivitet dypere enn 600 meter i perioden fra 10 juli til 10.juni. All slik aktivitet er enten ulovlig eller forskningsfiske.

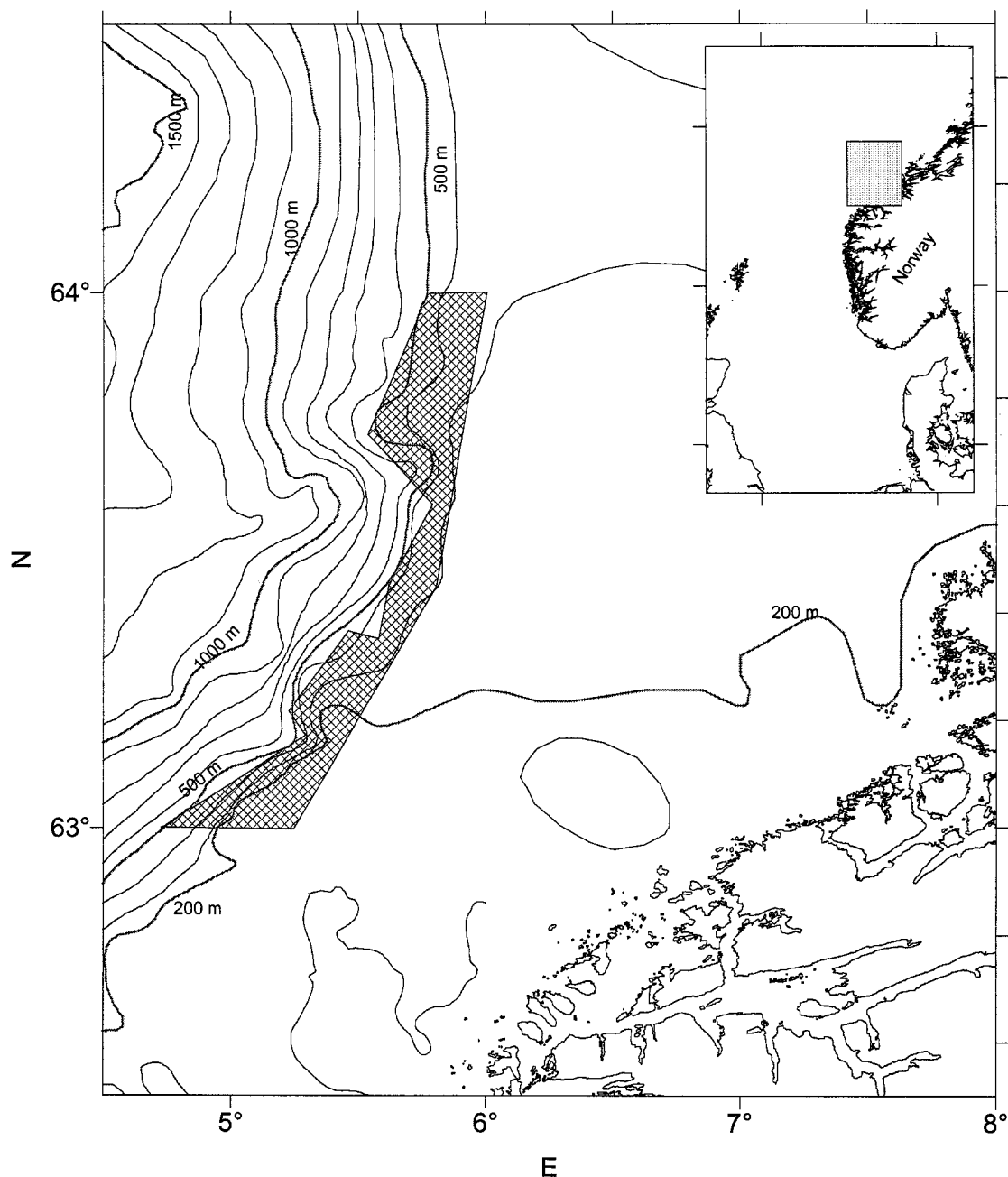


Fig. 2 Kontinental skråninga utanfor Møre og Romsdal (Storegga). Området som er stengt for garnfiske mellom 1. september og 30 april er skravert.

Bunnorganismer

Bløtbunnsfauna og sediment

Kunnskapen om bunnfaunan i området stammer bl a. fra undersøkelser i 1998 på Vøring som er et dypområde (600-1500 m) som strekker seg fra Trondheim i sør til Bodø i nord. For få et bilde av hva slags bløtbunssamfunn som kan tenkes å forekomme i området der injeksjonen skal foretas (ca 800 m) har en i det følgende referert resultater av forekomst av bløtbunnsfauna og sedimentparametere på 5 stasjoner på Vøring (tabell 2). Stasjonene hvor fra resultatene er referert ligger i dyp fra 665-913 m og dekker det planlagte injeksjonsdypet på ca 800 m. Stasjon 6 og 7 ligger relativt nær omsøkt område mens de øvrige stasjonene ligger ca 150 km lenger nord.

Sedimentet var i hovedsak dominert av silt og innholdet av grus var lavt mens innholdet av totalt organisk materiale var relativt høyt (Tabell 3). Det ble ikke observert konsentrasjoner av metaller eller hydrokarboner som kunne tyder på noen forurensning av sedimentene.

Tabell 2 Stasjoner på Vøring (data fra Jensen et al. 1999)

Stasjon	Posisjon UTM 31		Dyp (m)
	E	N	
V6	616157	7043583	913
V7	631995	7044214	591
V8	578581	7209671	895
V9	594305	7210126	757
V10	610018	7210665	665

Tabell 3 Kornstørrelsefordeling og totalt organisk materiale (% av tørt sediment) i sediment (data fra Jensen et al. 1999).

Stasjon	Median diameter (Φ)	Klassifisering	Silt og leire %	Sand %	Grus %	TOM %
V6	5,87	Silt og leire	93,8	6,2	0,0	13,6
V7	3,42	Sand	37,8	62,2	0,0	6,8
V8	4,85	Silt og leire	63,4	36,6	0,0	8,6
V9	4,08	Silt og leire	51,0	48,8	0,2	5,3
V10	3,88	Sand	46,3	53,6	0,2	5,2

De ti mest dominerende bløtbunnsorganismene på hver stasjon ses i VEDLEGG D. Sammensetningen av bløtbunnsfaunaene varierer noe fra stasjon til stasjon. Den mest dominerende arten på var muslingen *T. dunbari* (stasjon 6), krepsdyret (ostracode) *Cypridina* sp (Stasjon 7), børstemarken *P. jeffersii* (stasjon 8) og pølseormen *Golfingia* spp. (stasjon 9 og 10). Flere av disse artene går imidlertid igjen på flere stasjoner (Tabell 4). Fauna sammensetningen på stasjon 6 avviker en del fra de øvrige stasjoner.

Diversitetsindeksen varierer fra 3,3 (stasjon 6) til 5,9 (stasjon 7) (se tabell 4) med relativ høy jevnhetsindeks. Med unntak av stasjon 6 synes ingen av stasjonene å være forstyrret. Den noe lavere diversiteten på stasjon 6 kan imidlertid tyde på en moderat forstyrrelse av en eller annen ukjent faktor.

Undersøkelsene på Vøring tyder på en noe lavere diversitet enn på grunnere områder i Heidrun området.

Siden faunasammensetningen variere en del fra stasjon til stasjon gir dataene som er presentert her kun en overblikk over hva slags arter som kan tenkes å være tilstede på den valgte injeksjonslokaliteten. For å få et bilde på hva som virkelig er tilstede må en imidlertid foreta prøvetaking på selve lokaliteten.

Tabell 3. Antall arter (S), individer (N), diversitet (Shannon Wiener) (H), jevnhetsindeks (Pielous) (J). Data er for to box-core prøver a 0.25 m² på hver stasjon.

Stasjon	N	S	H	J
V6	1940	61	3,3	0,6
V7	757	122	5,9	0,9
V8	154	44	4,7	0,9
V9	376	83	5,5	0,9
V10	460	66	5,0	0,8

6. Datasimuleringer for utslippene

Under forsøkene vil CO₂ danne flytende dråper med positiv oppdrift. Og vi forventer at dråpene vil dekket av en tynn hydratfilm. Dråpene stiger, og danner en "sky" som vil følge samme retning som den lokale vannstrømmen. Avhengig av deres initialstørrelse vil CO₂-dråpene gradvis løses i sjøvannet over et høydeintervall på noen titalls meter.

Dynamikken til de stigende dråpene vil være kompleks, med medrivning og innblanding av sjøvann i den stigende skyen på grunn av dråpenes bevegelsesmoment. Samtidig vil CO₂-anriktet sjøvann langs sidene av den stigende skyen synke nedover på grunn av økt tetthet som følge av økt innhold av oppløst karbon. Dette karbon-anrikede sjøvannet vil slutte å synke når det er blandet ut med en tilstrekkelig mengde lettere sjøvann fra omgivelsene, og har nøytral oppdrift.

Ved hjelp av 3-D to-fase dråpe plume modellen ved Nansen Senteret er det foretatt simuleringer for det aktuelle miljøforholdene og utslippskarakteristikkene. Fullstendige resultater er gitt i VEDLEGG E. Figuren under viser et en beregnet situasjon med 0,1 kg/s utslipp, 2 mm dråper og 5 cm/s bakgrunnsstrøm, 50 minutter etter oppstart av utslippet. Plumen har da nådd tilnærmet steady-state. Dråpeskyen har steget oppover i sjøen til max 30-40 m over bunnen. Vannet med oppløst CO₂ og som har fått lavere pH, har blitt ført nedstrøms nærmere bunnen. Ytterkant av plumen ligger ca 160 m nedstrøms utslippet og bredden av plumen vil være noen titalls meter.

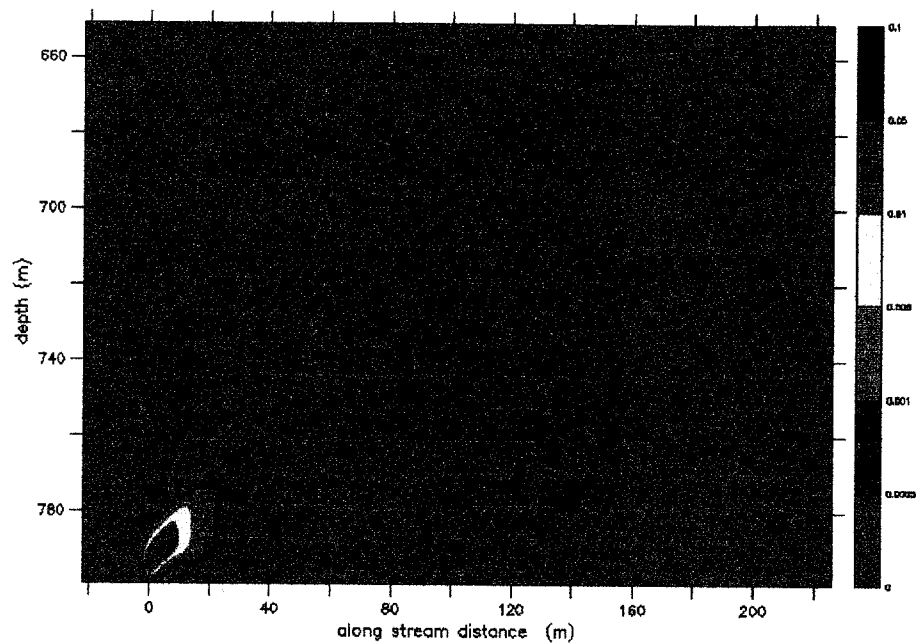
En ser at der er noen områder med pH mellom 6,5 og 7, mens det meste av vannet i plumen har pH mellom 7 og 7,5. Etter at eksperimentet er avsluttet vil pH reduksjonen returnere til normalen iløpet av noen titalls minutter. Simuleringer for sterkere strøm gir en flatere plume, som raskere fortynnes, men som strekker seg lenger nedstrøms. Høyere CO₂ flyks i utslippet gir en noe mektigere plume, men med noenlunde samme fasong som den som er synt nedenfor.

Flere eksempler er synt i VEDLEGG E



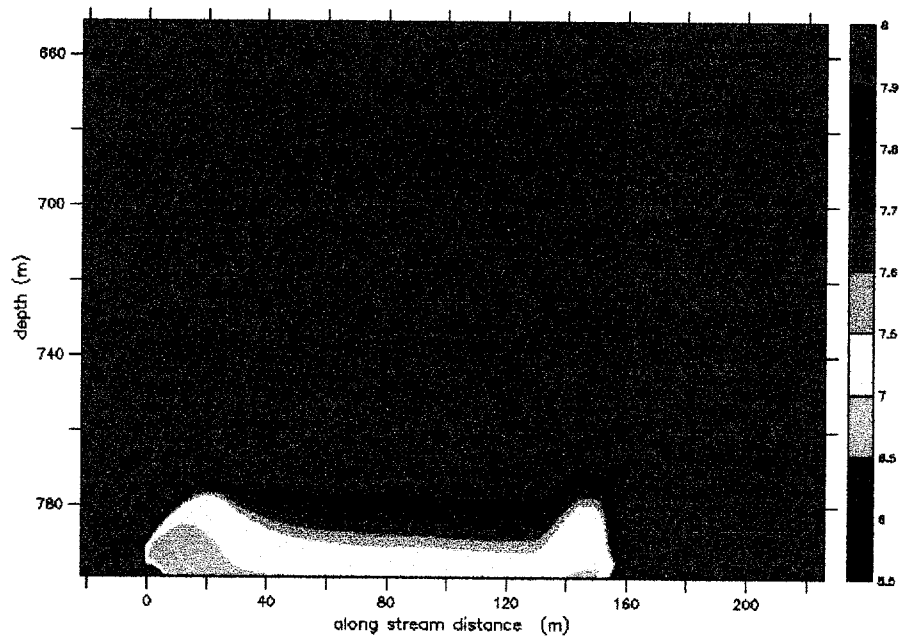
CaseA
00:50

ICO



CaseA
00:50

pH



Eksempel på hvordan h.h.v. CO₂ dråpe-plumen og plumen med lav pH ser ut, 50 minutter etter oppstart av utslippet. Eksempelet er for dråpestørrelse 2 mm, 0,1 kg/s utslippsfluks, og 5 cm/s i bakgrunnsstrøm.

7. Forventet miljørisiko

De foreslåtte testene med utlipp av små mengder CO₂ nær bunnen vil kunne berøre organismer på bunnen i et lite område rundt, samt vannsøylen like over utslippet, noen ti-talls meter opp. Det vil m.a.o. ikke oppstå noen miljøeffekter lenger opp i sjøen, og ei heller på sjøoverflata. Dermed kan en i motsetning til f.eks. forsøk med olje, se bort fra mulige effekter på sjøfugl, pelagisk fisk og sjøpattedyr (hval kan dykke ned til 800 m, men sjangsene for at en hval skal komme i berøring med forsøket ansees for mikroskopisk). Kalkbyggende dyvannskoraller langs eggakanten vil kunne være følsomme for påvirkning av et CO₂ utslipp. Disse korallbeltene ligger imidlertid mye grunnere enn 800 m og lenger inne, i forhold til der utslippet vil finne sted, slik at effekter på disse er usannsynlig.

CO₂ inngår som en naturlig og essensiell del av det biologiske og geokjemiske kretsløpet på jorda. I hver kubikkmeter havvann er det oppløst ca 2 mol CO₂ (ca 90 gram). Det er variasjoner i konsentrasjon fra hav til hav, og fra overflate til bunn, og konsentrasjonene varierer også sesongmessig. Mange pelagiske organismer vandrer enten vertikalt eller horisontalt gjennom naturlige pH gradienter over flere tiende-deler, uten å ta skade av dette. Et eksempel er zooplankton som kan vandre flere hundre meter opp og ned i løpet av et døgn, på jakt etter føde og på flukt fra predatorer.

Et utslipp av rein CO₂ vil uansett medføre forhøyede konsentrasjoner i nærsone til utslippet, i forhold til naturlig bakgrunn. Det er gjort en del forskning og forsøk på hvordan organismer i vann reagerer på rein CO₂ og forhøyet CO₂ innhold. I første omgang kommer CO₂ ut som reine dråper, og større organismer som kommer i kontakt med disse vil sannsynligvis unngå, mens mikroorganismer og lite bevegelige organismer bedøves eller dør (CO₂ brukes bl.a. som bedøvingsmiddel for fisk i fiskeforsøk).

Modellsimuleringene viser at dråpeskyen vil være stasjonær over utslippet, og nå ca 30-40 m opp i sjøen fra bunnen. Organismer som kan bli eksponert for CO₂ dråpene vil dermed være pelagiske, mens bunnfauna og bunnfisk ikke blir berørt av dette. Den fiskeri-biologiske oversikten i denne søknaden synte at det var få arter i det aktuelle området og dybdeintervallet. Sporadiske individ kan imidlertid komme forbi og bli påvirket av CO₂ dråpene. Forsøk med flytende CO₂ på dypt vann (MBARI) har synt at fisken i berøring med CO₂ bobler kan bli lettere bedøvd, og så kvikner til igjen.

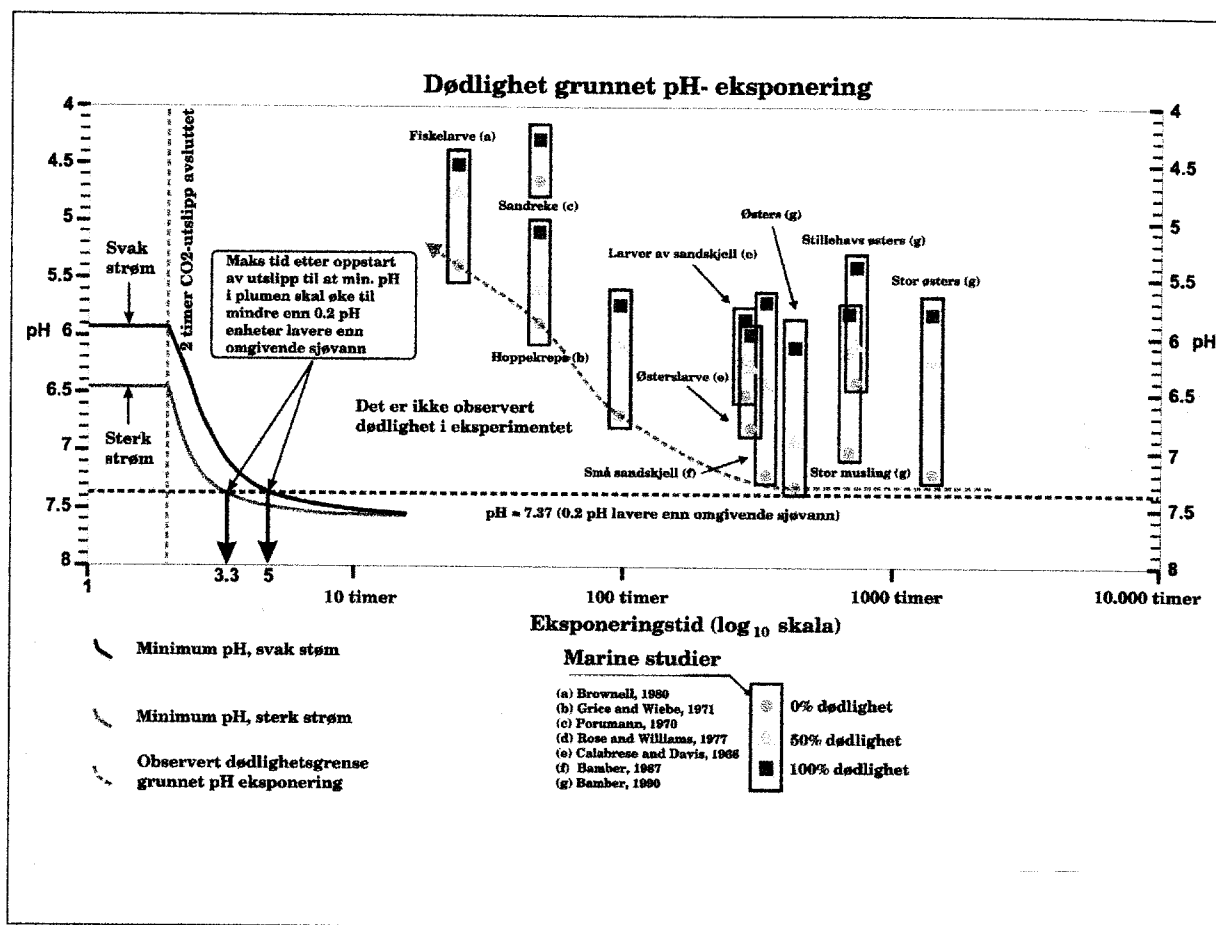
Det vil bli tilrettelagt for observasjoner som skal fange opp og dokumentere eventuelle biologiske effekter av CO₂ dråpene i vannsøylen under de omsøkte utslippene av CO₂ i Norskehavet sommeren 2002.

Etter hvert som den flytende CO₂-en oppløses i havvannet, vil karbon-likevekten i havvannet blir forskjøvet slik at mer karbon vil foreligge som oppløst CO₂ og mindre som karbonat/bikarbonat. pH i vannet blir lavere i skyen (plumen) av CO₂-anrikt sjøvann. Organismer kan kanskje i værste fall dø hvis de eksponeres mot dette vannet. Dette kan skyldes direkte effekt av lav pH, som forstyrrer biokjemiske prosesser i organismene, og effekt av forhøyet CO₂ innhold (s.k. hypercapnia).

Modellsimuleringene viser at plumen med CO₂ anrikt vann blir tyngre enn omgivende sjøvann, og vil følge bunnen nedstrøms utslippet. Det er dermed først og fremst stasjonære organismer på i sedimentet som vil kunne reagere på plumen.

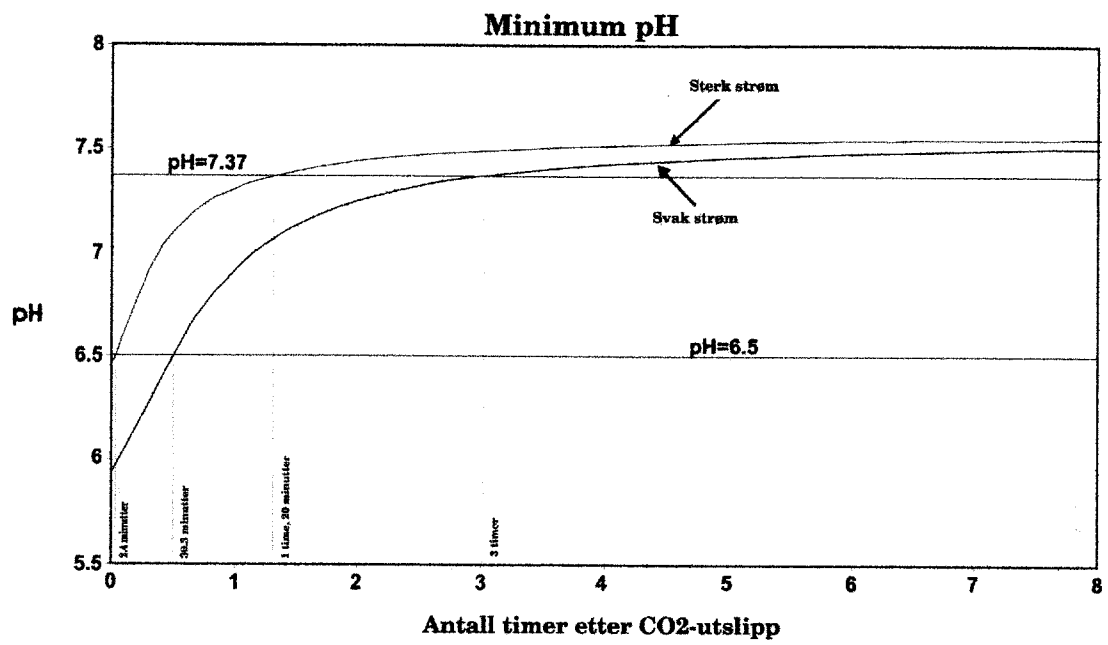
Effekter av lav pH på organismer har vært studert lenge, i samband med forsuring, og utslipp av surt vann fra industrien etc. Effekter og eventuell dødelighet avhenger av hvor lav pH en er, og hvor lenge organismene eksponeres mot det sure vannet. Se skissen. Men det gjenstår forskning når det gjelder de biologiske effektene som framtidig stortstilt utslipp av CO₂ kan

ha for livet i havet. Derfor inngår det i eksperimentet i Norskehavet et program for nøye overvåking av effekter i plumen. Se VEDLEGG F.



Skisse som viser hvilke pH-områder ulike organismer kan påvirkes av forsuret vann, avhengig av varighet på eksponeringen. Innen i CO_2 plumen ligger pH på 6-6,5 (avhengig av vannstrømmen) under utslippene. Når utslippet opphører øker pH i plumen nedstrøms raskt og når 0,2 i pH under bakgrunn etter 3-5 timer. Denne pH-verdien (7,4) tilsvarer om lag den høyeste pH verdien som det i tidligere forsøk har vært registrert effekter på. Men da har det dreiet seg om langtidseksponering, 100-1.000 timer, m.a.o. mye lengre tid enn det en CO_2 plume vil overleve i sjøvannet etter et eksperimentelt utslipp.

Etter at utslippene opphører, vil pH raskt returnere til bakgrunnsnivå. Skissen nedenfor viser at for et utslipp av den størrelsesordenen som skal testes, vil pH i senter av plumen (med lavest pH) returnere til pH over 6,5 etter noen minutter med strøm rundt 20 cm/s, og etter ca 1/2 time med svak (3 cm/s) strøm.



Skisse som viser hvordan pH går tilbake til normalen etter at et CO₂ utslipp har stanset.

8. Program for målinger og overvåking

Feltekspperimentet vil bestå av en rekke delforsøk, som hvert enkelt er designet for å observere og vurdere oppførselen til flytende CO₂ som slippes ut i vannmassen ved ulike utslippsbetingelser og omgivende forhold. I hvert delforsøk skal CO₂ slippes ut med konstant massefluks fra dyser på utslippsenheten plassert på havbunnen. Utformingen av dysehoder (antall dyser og diameter på disse) og valg av massefluks er ventet å gi CO₂-dråper med ulik dråpestørrelse og karakteristikk (enkeltdråper, dråpesky, "atomiserte" dråper). Massefluksen for CO₂ varierer mellom 0,1 og 0,3 kg/s, mens hvert utslipp vil vare i inntil 2 timer. Avhengig av værforhold skal ett eller to delforsøk gjennomføres pr. dag, over en total forsøksperiode på totalt 10 dager.

Utrekningen på forventet (tydelig målbart) influensområde for skyen er av størrelsesorden 100 m nedstrøms fra injeksjonspunktet. Utenfor dette området vil det karbon-anrikede sjøvannet drive med strømmen mens det raskt fortynnes videre ved turbulente prosesser ned mot bakgrunnsnivåer for løst karbon og pH.

Målsetningene for måleprogrammet er å:

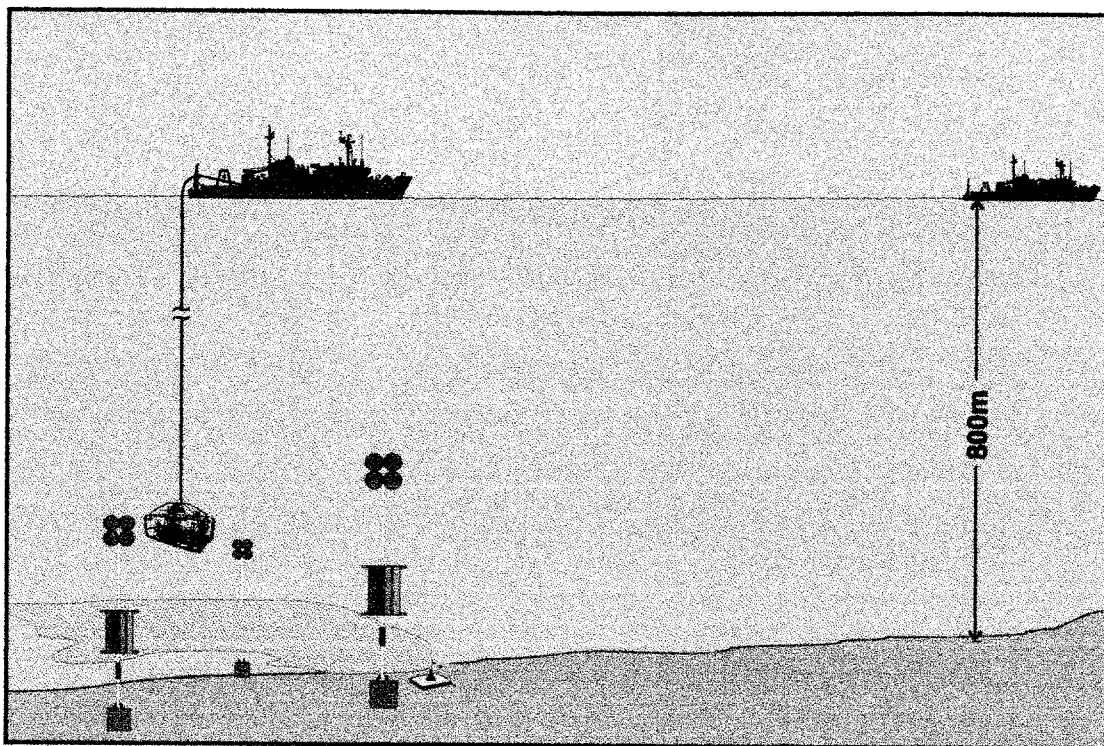
- observere dråpeskyens oppførsel (f.eks. interaksjon mellom sky og omgivende sjøvann, dråpenes stigehastighet, hydratdannelse) og å måle fortynning, pH og karbon-kjemi inne i skyen (dvs. innenfor en avstand på inntil ca. 1-200 m fra injeksjonspunktet).
- Måle endringer i sjøvannet i større avstand fra dråpeskyen
- Se etter mulig biologisk påvirkning på pelagiske, bentiske og mikrobielle samfunn

Disse målene, og metodene for å oppnå disse, er beskrevet i VEDLEGG F.

Her nevnes kort at vannprøver blir samlet inn under undersøkelsene og analysert for pH, løst inorganisk karbon (DIC) og ¹³C ombord i forskningsfartøyet. PH-verdiene brukes til å kalibrere pH-sensorene, mens DIC og ¹³C fungerer som ekstra sporstoff for dråpeskyen (som tillegg til pH). Vannprøvene vil også bli brukt til bakterieanalyse.

Som navigasjonsstøtte for ROV og RTV skal flere transpondere utplasseres på havbunnen. En bunnmontert ADCP (akustisk Doppler strømmåler) med akustisk modem skal gi en vertikal profil av vannstrøm og sende data til forskningsfartøyet. Dette vil være til hjelp med å bestemme i hvilken retning dråpeskyen beveger seg. Det er aktuelt å plassere flere strømmålere og pH-sensorer på havbunnen i egne rigger. Figuren her viser et skissert oppsett for dette.

Etter at eksperimentet er avsluttet vil alt utstyr som har vært benyttet bli fjernet fra havbunnen, med mulig unntak av små vekter av jern som har vært benyttet til å forankre måleutstyr.



Skisse av utslippet og miljøovervåkingen. ROV kan opereres både fra forskningsfartøyet og supplybåten.

9. Kriterier for gjennomføring og beredskap

Eksperimentet er teknisk sett ganske krevende. På den andre side vil det anvendes avansert utstyr og fartøyer som skal sikre gjennomføringen, både sikkerhetsmessig og faglig.

Et team av eksperter fra de noen av de mest renomerte institusjonene i verden på miljøteknologi, fysikk, biologi etc har brukt tre år eller mer på planleggingen. Planer har blitt løpende diskutert og revidert etter som alternative forslag og løsninger har kommet opp.

Sikkerhet om bord i båtene

CO₂ gassen vil bli oppbevart om bord i supplybåten i en stor tank som holder ca minus 20 °C og 20 bar. Dette er en standard industri trykktank for nedkjøling og oppbevaring av CO₂.

Eksisterende sikkerhetsrutiner for håndtering av CO₂ gassen vil bli fulgt. Kun dedikerte ingeniører og mannskaper skal håndtere denne. Det samme gjelder for fylling av gass-tankene i utslipps-enheten.

De blir utarbeidet en særskilt sikkerhetsmanual som beskriver rutiner for håndtering og overføring av gassen, samt håndtering av andre mulige risikoooperasjoner.

Den vitenskapelige delen av eksperimentet vil dreie seg om anvendelse av velprøvde felt-metoder og utstyr. Det er ikke forbundet noen spesiell risiko i samband med dette.

Kriterier for utsettelse eller avbryting av forsøket

Værforholdene

Eksperimentet vil kunne gjennomføres selv med med vind (opp til stiv/sterk kuling) siden det skal opereres med store båter som har god stabilitet og moderne posisjoneringsutstyr. Vind i seg selv vil ikke vær noe hinder. Det antas at med bølgehøyder over 3 m vil det være vanskelig å få gjennomføre målingene og overvåkingen av utslippene på en faglig sett forsvarlig måte. Eksakt grense for dette vil avhenge av valgt fartøy.

Eventuell beslutning om å stenge ned CO₂ strømmen og bryte av p.g.a. været blir tatt av toktlederen i samråd med kapteinene på de to involverte fartøyene (supplybåten og forskningsfartøyet). Slikt avbrudd vil ikke medføre noen risiko for utstyr eller personell; CO₂ enheten kan om nødvendig bli stående på bunnen til forholdene bedrer seg.

Uventet oppførsel til CO₂ dråpene

Det er en viss usikkerhet knyttet til hvor høyt opp i vannsøylen CO₂ dråpene faktisk vil stige, før de er fullstendig oppløst i havvannet. Datasimuleringene antyder en stighøyde på noen få ti-talls meter. Simuleringene baserer seg på kjent hydrodynamikk og termodynamikk, som igjen bygger på resultater fra tester med flytende CO₂ i trykktanker m.m. Det er derfor lite sannsynlig at en vil få svært overraskende resultater m.h.t. oppstigning.

Dråpene vil bli fulgt med ROV og kameraer på veg oppover. Dersom disse mot formodning skulle stige opp mot ca 500 m dyp, til et trykk der de vil ekspandere til gassbobler, vil forsøket bli avbrutt og utslippsarrangementet bli re-konfigurert (f.eks. mindre dyseåpninger, som gir mindre og raskere oppløselige dråper).

Uventede observasjoner av miljøeffekter

Utslippene vil bli nøye overvåket av norske og internasjonalt anerkjente kjemikere og biologer om bord i båtene. Dersom det skulle vise seg at test-organismer eller andre organismer som kommer i berøring med plumen vil bli utsatt for tydelige effekter og utviser tydelig adferds-endring, vil utslippet bli stanset. En har da allerede skaffet seg opplysninger om grenseverdier i forhold til (sub-letale) effekter ved korttidseksponering.

10. Rapportering

Detaljert program for gjennomføringen vil bli oversendt SFT i god tid før feltforsøket.

De blir utarbeidet en særskilt sikkerhetsmanual som beskriver rutiner for håndtering og overføring av gass om bord, samt håndtering av andre mulige risikooperasjoner i samband med eksperimentet.

Rapport fra feltgjennomføringen (toktrapport) vil bli oversendt SFT innen 15. september, 2002.

Utslippsforsøket har som overordnet formål å øke kunnskapen om oppførselen til CO₂ som slippes ut i sjøen på dypt vann, hvordan den spres og fortynnes, og hvilke miljøeffekter den kan ha.

Den internasjonale karakteren til prosjektet og den underliggende problemstillingen (klimaeffekter og klimatiltak) som det skal bidra til å løse, tilsier at resultatene raskt må bearbeides og rapporteres for å komme de aktuelle miljøer som arbeider med dette, til nytte.

Det blir arrangert en Workshop i Norge i oktober, 2002, hvor resultatene presenteres og diskuteres.

Resultatene for ulike del-studier vil bli nøye gjennomgått av de samarbeidende ekspertene, og som så vil bli rapportert og publisert.

Pressemelding etter gjennomføringen vil bli sendt ut av det internasjonale teamet, representert ved styringskommiteen, (inkl. Norges forskningsråd).

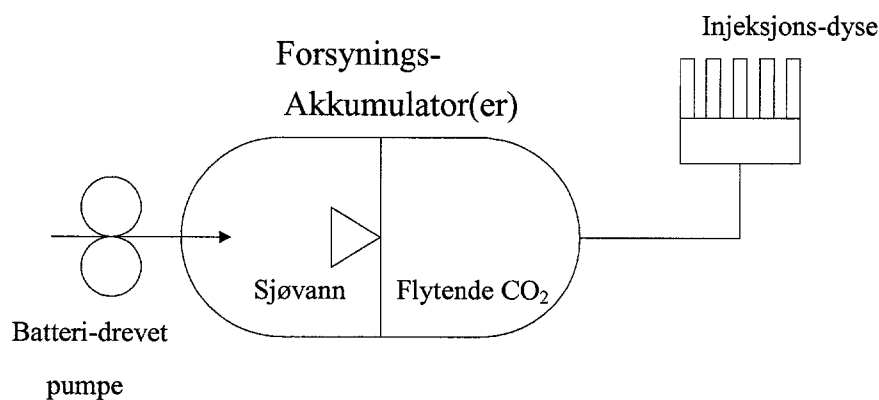
Resultatene av observasjonene vil bli benyttet til å validere/kalibrere eksisterende numeriske modeller for CO₂ utslipp i havet, både hos norske, japanske og amerikanske institusjoner. Resultater av dette vil bli rapportert og publisert.

VEDLEGG A Beskrivelse av CO₂ håndteringen under felteksperimentet

CO₂ felteksperimentet vil bli gjennomført som følger:

- 1) Forsyningsfartøyet (med CO₂-forsyningsenhet) legges i stasjonær posisjon
- 2) CO₂ overføres fra lagringstankene til forsyningsenheten
- 3) CO₂-forsyningsenheten utplasseres på havbunnen
- 4) CO₂-utslipp gjennomføres ihht. planlagte testforhold, og observasjonsprogrammet gjennomføres
- 5) Nedstenging av CO₂-forsyningsenheten
- 6) Opphenting av CO₂-forsyningsenheten fra bunnen
- 7) CO₂ overføres fra lagringstankene til forsyningsenheten til neste forsøk

CO₂-forsyningsenheten som skal brukes under felteksperimentet er skissert i Figur 1. Flytende CO₂ lagres i 20 beholdere som er plassert i en spesiallaget ramme/rigg. Denne enheten senkes ned på havbunnen. En batteridrevet pumpe brukes til å presse omgivende sjøvann inn i beholderne med en gitt konstant hastighet. Dette vannet vil da fortrenge den flytende CO₂en ut i sjøen gjennom et dysehode.



Figur 1. Skisse av CO₂-forsyningsenhet. Sjøvann som pumpes inn presser flytende CO₂ ut. I tankene er det en fleksibel guimmembran som hindrer blanding mellom sjøvann og CO₂.

Spesifikasjoner for forsyningsfartøyet

Fartøyet som CO₂-forsyningsenheten skal settes ut og hentes opp med bør ha følgende karakteristikk;

- a) være sjødyktig og ha tilstrekkelig størrelse til de planlagte operasjonene

- b) ha passende løftekapasitet på dekk
- c) ha moonpool (brønn midtskips) til utsetting og opphenting av CO₂-forsyningsenheten
- d) utstyrt med dynamisk posisjonering (DP)

Størrelsen på skipet er viktig ut fra to forhold. Større skip vil ha nok dekksplass for utstyret som skal brukes til lagring og injeksjon av CO₂, og tilfredsstillende innkvartering for personell. I tillegg vil et større fartøy være mindre følsomt for korte bølger, slik at skipsbevegelsene vil være små under gunstige værforhold. Et lengre skip vil dermed kunne muliggjøre utsetting og opphenting av injeksjonsutstyret på trygt vis også under forhold med moderat bølgehøyde.

Gjennom en moonpool kan man få tilgang til sjøoverflaten nær midten av skipet. CO₂-forsyningsenheten kan dermed håndteres med vaier midtskips istedenfor over hekk eller ripe. Dette har betydelige fordeler. Viktigst er at bruk av moonpool vil eliminere bidraget fra skipets rotasjonsbevegelser til vertikalbevegelse i festepunktet for vaier som holder CO₂-forsyningsenheten.

DP er viktig for å kunne holde samme posisjon over lengre tid. Spesielt idet CO₂-forsyningsenheten når bunnen, og mer vaier må gis ut, er det viktig å kunne holde posisjonen for å unngå for eksempel å slepe utstyret langs bunnen.

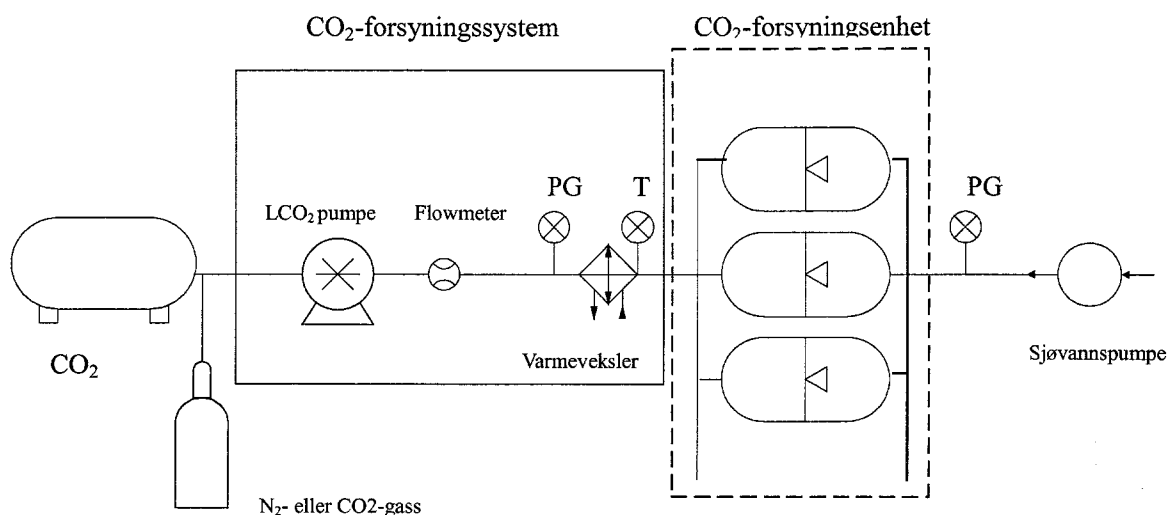
Et ideelt fartøy anses p.t. å være et offshore supplyskip.

Fylling av CO₂ ombord

Figur 2 viser en skisse av systemet for fylling av CO₂. Beholderne fylles først delvis med sjøvann (sannsynligvis 30% av totalkapasiteten), for å unngå deformasjon.

All CO₂ som skal brukes under felteksperimentet vil være lagret i en 5 til 20 tonns kjøletank ombord. Flytende CO₂ fylles over i CO₂-forsyningsenheten gjennom et fyllesystem bestående av en CO₂-pumpe, fluksmåler og varmeveksler.

Siden CO₂en som oppbevares i tankene vil holde lav temperatur (sannsynligvis under -20 °C) og ha trykk ca. 20 bar, vil det være nødvendig å øke trykket og varme den flytende CO₂en før den overføres til CO₂-forsyningsenheten.



Figur 2. Skisse av CO₂-fyllingssystem.

Bruk av CO₂-forsyningssystemet

Figur 3 viser grunntrekkene i CO₂-forsyningsenheten.

Tankene fylles før utsetting med sjøvann (30%) og flytende CO₂ (70%). CO₂ og vann holdes adskilt fra hverandre med fleksible gummimembraner inne i tankene.

Under nedsenking til større dyp vil omliggende sjøvann strømme inn i tankene gjennom en (enveis) tilbakeslagsventil etterhvert som trykket inni langsomt blir lavere enn det omgivende trykk.

For å starte injeksjon av CO₂ åpnes stopp-ventilen for beholderen og strøm slås på til sjøvannspumpa. Denne pumpa er ei girpumpe drevet av en undervanns likestrømsmotor, med filter på inntakssiden for å unngå inntrenging av større partikler med sjøvannet. Bryterne for ventilen og pumpemotoren opereres fra overflaten ved hjelp av akustisk modem, eller med tidsstyring (evt. fra ROV).

CO₂-dråpenes dynamikk skal observeres ved hjelp av undervannskamera, og de ulike målingene som skal gjennomføres settes i gang når injeksjonsprosessen er blitt stabil ("steady-state").

Etter at forsøket er fullført slås pumpen av og stopp-ventilen stenges. Magasinene fylles med sjøvann, og fullstendig ekspandert innenfor akkumulatortankens trykkvegger.

Viktigste dimensjoner på CO₂-forsyningsenheten

En skisse over layout og størrelser på CO₂-forsyningsenheten er vist i Figur 4.

20 beholdere hver på 15 US gallons (ca 57 liter) gir CO₂-forsyning til hvert deleksperiment. 70% av totalvolumet fylles med CO₂ som senkes ned på havbunnen, og det antas at 70% av

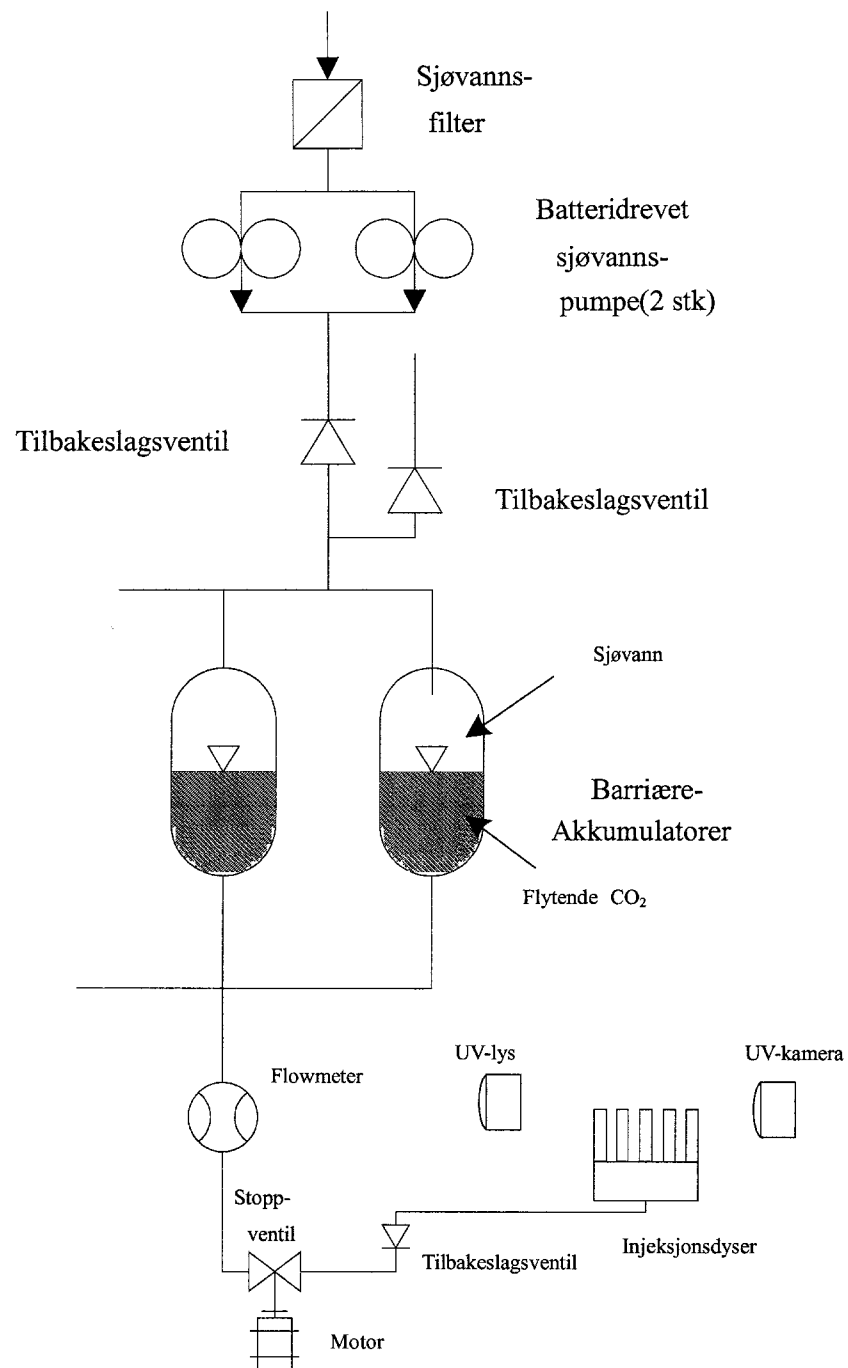
dette igjen kan brukes effektivt. Mengden CO₂ som injiseres i hvert forsøk vil dermed bli omlag 540 kg.

Varigheten av hvert enkelt deleksperiment avhenger av fluksraten som velges. De ulike deloppsettene som er planlagt er vist i Tabell 1.

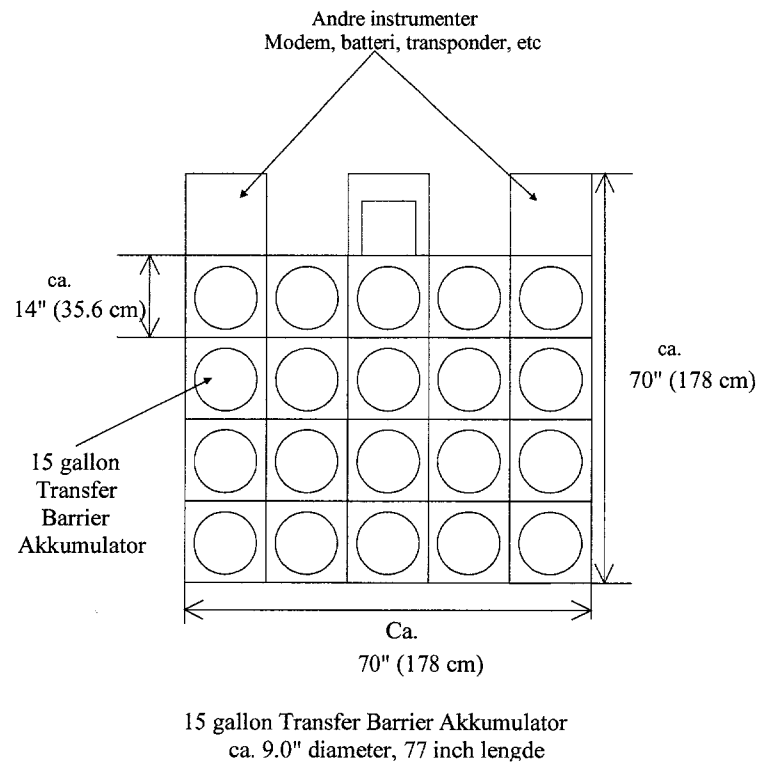
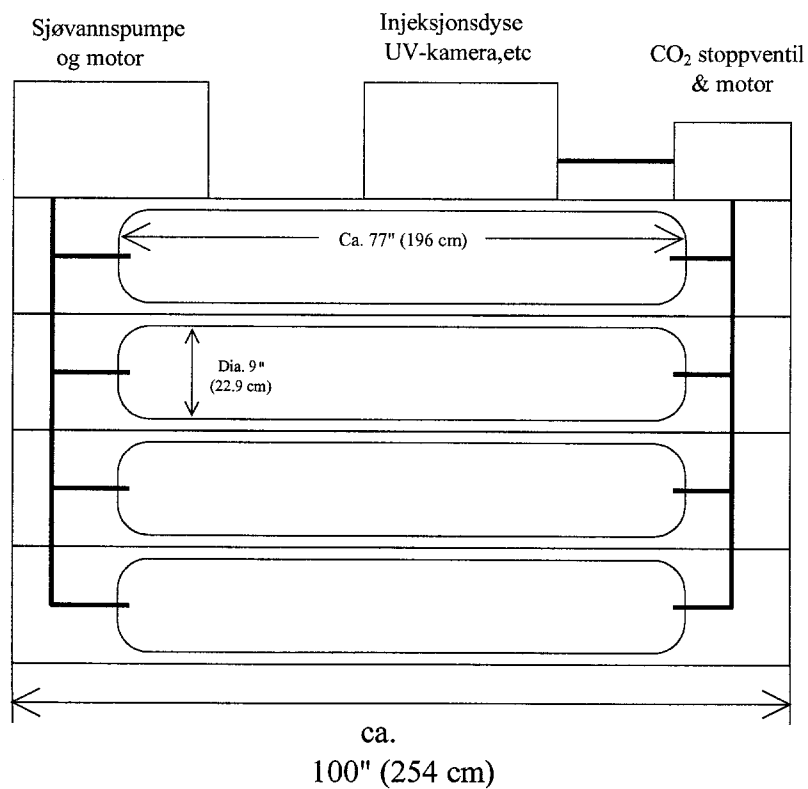
To til tre typer dysehoder skal produseres. Disse kan om nødvendig byttes om ombord, for å regulere CO₂-injeksjonen som vist i tabellen.

Tabell 1 Eksperimentmatrise

Mengde CO ₂ i akkumulatorene	Mengde CO ₂ som benyttes	Fluksrate	Varighet for hvert deleksperiment
770 kg	ca. 540 kg	0.1 kg/sek	5400 sek (90 min.)
		0.3 kg/sek	1800 sek (30 min.)



Figur 3. Konseptuelt design for CO₂-forsyningsenheten.



Figur 4 Layout og dimensjoner for et sett med tyve 15 gallon beholdere.

Utsetting og opphenting av CO₂-forsyningsenheten

Som beskrevet i delkapitlet "Spesifikasjoner for forsyningsskipet" vil utsetting og opphenting av CO₂-forsyningsenheten foregå gjennom skipets moonpool.

CO₂-forsyningsenheten senkes og heves med en fleksibel vaier. Et standard vaier som f.eks. 6 x 19 IWRC (Independent Wire Rope Core) bør være passende. IWRC er sterkt med hensyn på strekk, lite sårbart for trykk og ideelt til å bøye over skiver og tromler selv ved stor belastning. Dimensjon (nominell diameter) vil være ca. 16 til 25 mm.

Større vaiertykkelse gir klare fordeler:

- a) bruddstyrke i størrelse 50 tonn, mot ca. 20 tonn for mindre diametere.
- b) naturlig periode for vertikalbevegelse av den hengende CO₂-forsyningsenheten på

grunn av vaier-elastisiteten er gitt ved $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{ML}{EA}}$ (sek), der E er Young's

modulus for stål, A er tverrsnittsareal av metallet, M er massen til CO₂-forsyningsenheten samt massen av vann som akselereres langs sidene av denne, og L er lengden av vaier som henger ute. Større tykkelse på vaieren vil altså gi kortere T₀ for mindre bevegelser av fartøyet.

Valg av større dimensjon på vaier har også visse ulemper:

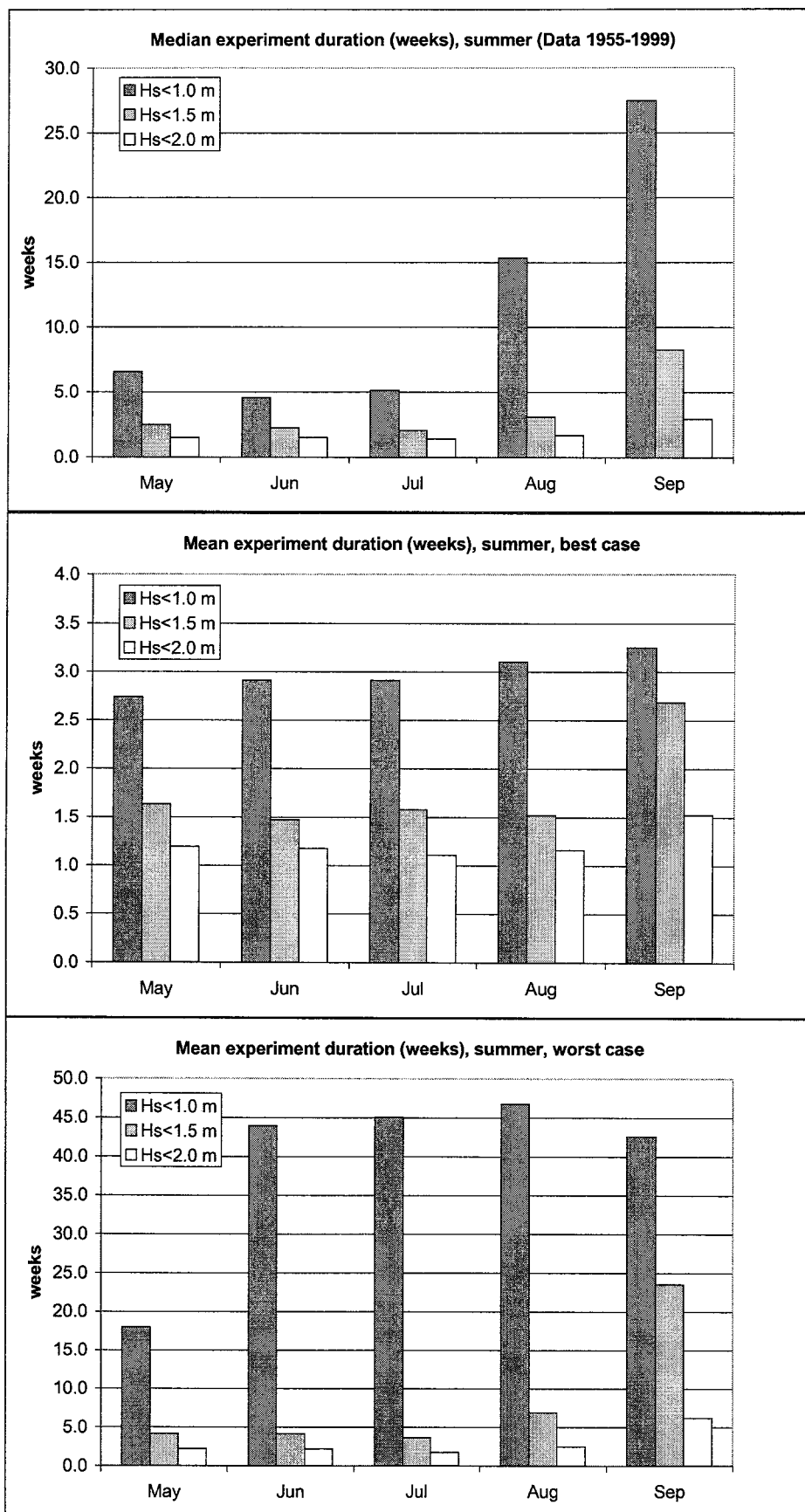
- a) størrelse 25 mm gir omlag tre ganger større masse enn 16 mm; ca 3 kg/m
- b) størrelse og vekt på vinsjen som trengs øker tilsvarende

Sistnevnte kan medføre praktiske problemer i forhold til dekksplass og håndtering.

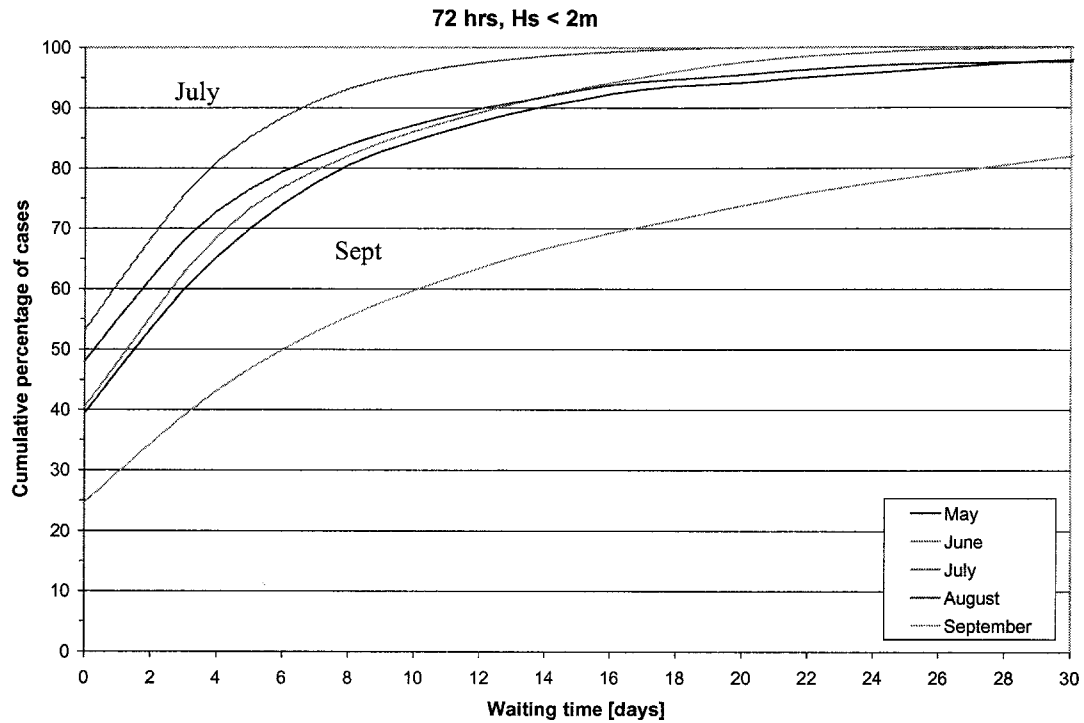
Oppsummering; endelig valg av vaier vil avhenge av visse praktiske kompromiss gjennom vurdering av karakteristikken til tilgjengelige forsyningsfartøy og de endelige dimensjonene på CO₂-forsyningsenheten.

En fase i utsettings- og opphentingsoperasjonen som krever ekstra oppmerksomhet er i det enheten når/heves fra bunnen, siden de vertikale bevegelsene i festpunktet til vaieren overføres gjennom systemet. Det er flere mulige metoder for å slå fast når denne kritiske fasen er i ferd med å inntreffe: holde rede på lengden vaier som er gitt ut, måling av strekk for å se når en plutselig endring inntreffer, eller ved å bruke en akustisk "pinger" som "ser" havbunnen (under utsetting). Dynamisk posisjonering vil her være til stor hjelp. Det er viktig å minimere all risiko for at CO₂-forsyningsenheten skal "slå" i bunn eller bli trukket langs bunn. Hastigheten for å gi ut eller ta inn vaier må tilpasses til dette.

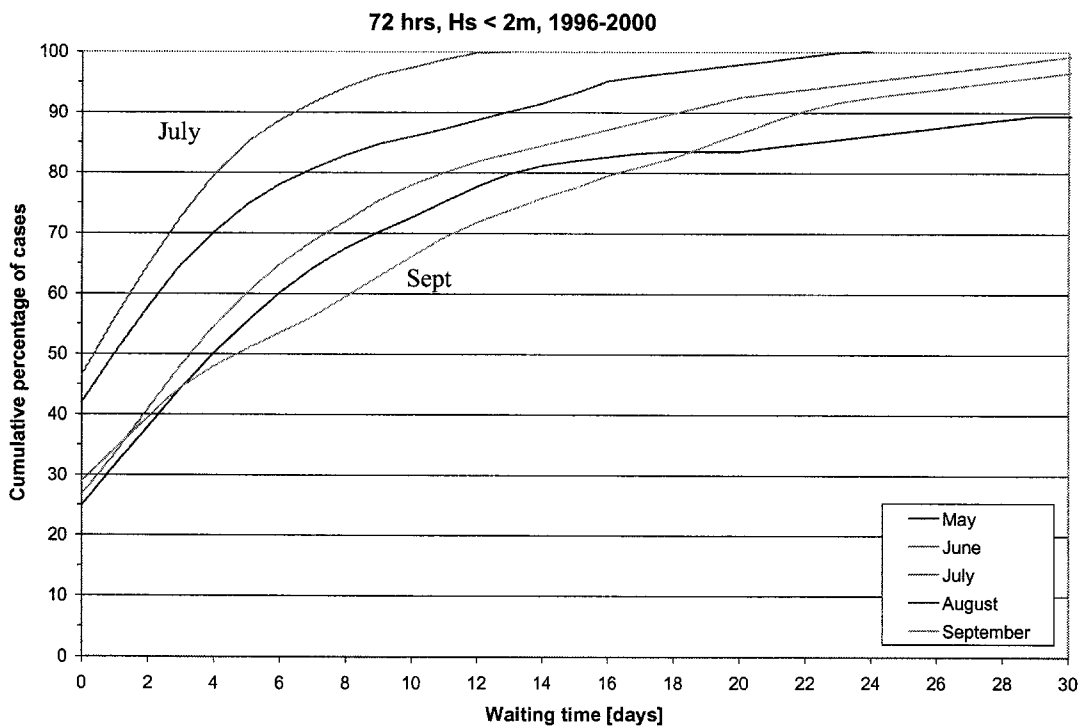
VEDLEGG B Bølgestatistikk (Ventetider)



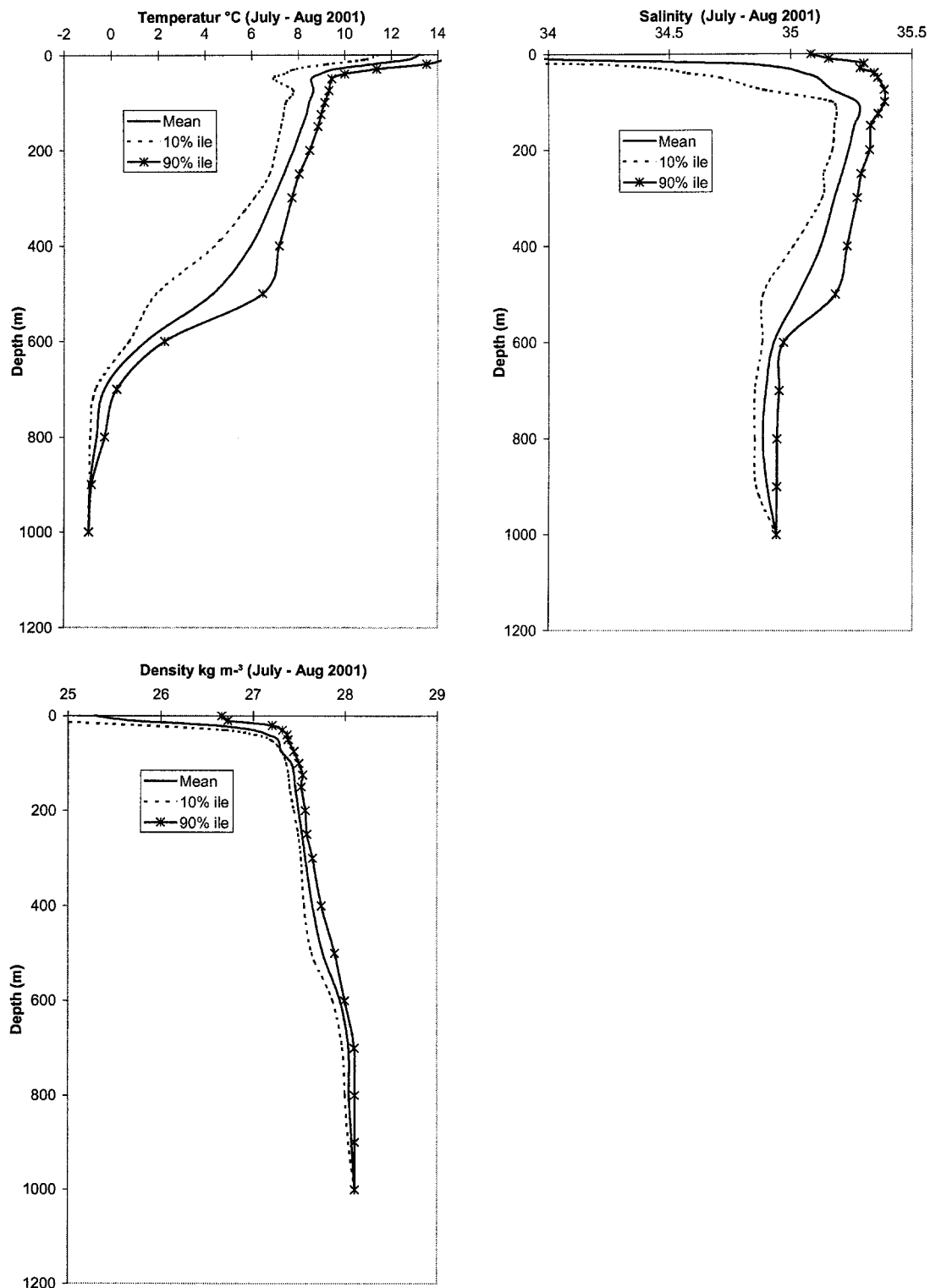
1955-2000



Last 5 years



VEDLEGG C Hydrografi for juli og august



VEDLEGG D Bløtbunnsfauna

Oversikt over de 10 mest dominerende bløtbunnsartene på hver stasjon. Data er for to box-core prøver a 0.25 m² på hver stasjon (data fra Jensen et al. 1999).

Stasjon		Antall
V6	Thyasira dunbari	900
	Paramphinome jeffersii	198
	Aricidea albatrossa	127
	Levinsenia gracilis	107
	Caulleriella serrata	93
	Cossura longocirrata	69
	Nemertea sp.	43
	Ophelina abranchiata	43
	Yoldiella fraterna	42
	Scalibregma spp.	37
V7	Cypridina sp.	72
	Heteromastus filiformis	39
	Golfingia spp.	30
	Paramphinome jeffersii	29
	Lanassa venusta	28
	Autonoe megacheir	28
	Tryphosa sp.	28
	Notomastus spp.	22
	Harpinia pectinata	22
	Lumbrineris magnidentata	20
V8	Paramphinome jeffersii	16
	Golfingia spp.	14
	Nemertea sp.	14
	Myriochele oculata	12
	Hyperiidae sp.	12
	Lumbrineris scopa	8
	Caulleriella serrata	8
	Maldane sarsi	6
	Harpinia mucronata	6
	Thyasira dunbari	6
V9	Golfingia spp.	53
	Spiophanes krøyeri	19
	Clymenura borealis	14
	Paramphinome jeffersii	13
	Scalibregma spp.	13
	Lumbrineris scopa	12
	Onupis conchylega	11
	Chaetozone setosa	11
	Tharyx sp.	11
	Harpinia antennaria	11
V10	Golfingia spp.	58
	Paramphinome jeffersii	35
	Lumbrineris scopa	30
	Unicicola planipes	30
	Samytha sexcirrata	26
	Byblis sp.	23
	Spiophanes krøyeri	19
	Myriochele oculata	18
	Caulleriella serrata	16
	Harpina antennaria	16

VEDLEGG E Datasimuleringer

CO₂ er i væskeform ved trykk dypere enn 400-500 meter (temperatur avhenging) med lavere tetthet enn sjøvann ned til ca. 3000 meter. Utslipp av dråper av CO₂ vi derfor generere en sky av stigende dråper. På grunn av friksjon vil de stigende dråpene dra med seg omliggende vann, såkalt medrivning. Samtidig vil dråpene gradvis løse seg opp og tilføre det medrevne vannet økt CO₂ konsentrasjon, med påfølgende pH reduksjon. Dette fører igjen til økt tetthet av det berikede vannet som igjen vil bremse stigningen av dråpene.

Denne to-veis koblingen er hovedkomponentene i den to-fase dråpe plume modellen som er utviklet ved Nansen senteret i Bergen. De to fasene, CO₂ dråper og sjøvann, vekselvirker gjennom friksjon og masseovergang. Sjøvannskomponenten er en ikke-hydrostatisk fluid dynamikk løser, mens dråpe komponenten er behandlet av konserveringsligninger for masse og antall dråper. I tillegg kommer parameterisering av dråpe hastighet og masseovergang. Å få disse parameteriseringene korrekt er viktig for å kunne studere utviklingen av den økte CO₂ og hvordan den fordeler seg i vannsøylen. Det foreslåtte eksperimentet er derfor viktig for å kunne begrense usikkerhetene som idag er knyttet til disse.

Det er kjørt 6 forskjellige tilfeller hvor injeksjonsrate, størrelsen på de injiserte dråpene, og bakgrunnsstrømmen varierer. Forskjellen mellom de forskjellige simuleringene er oppgitt i tabell 1. Temperatur og salt profiler er tatt fra Haltenbanken området.

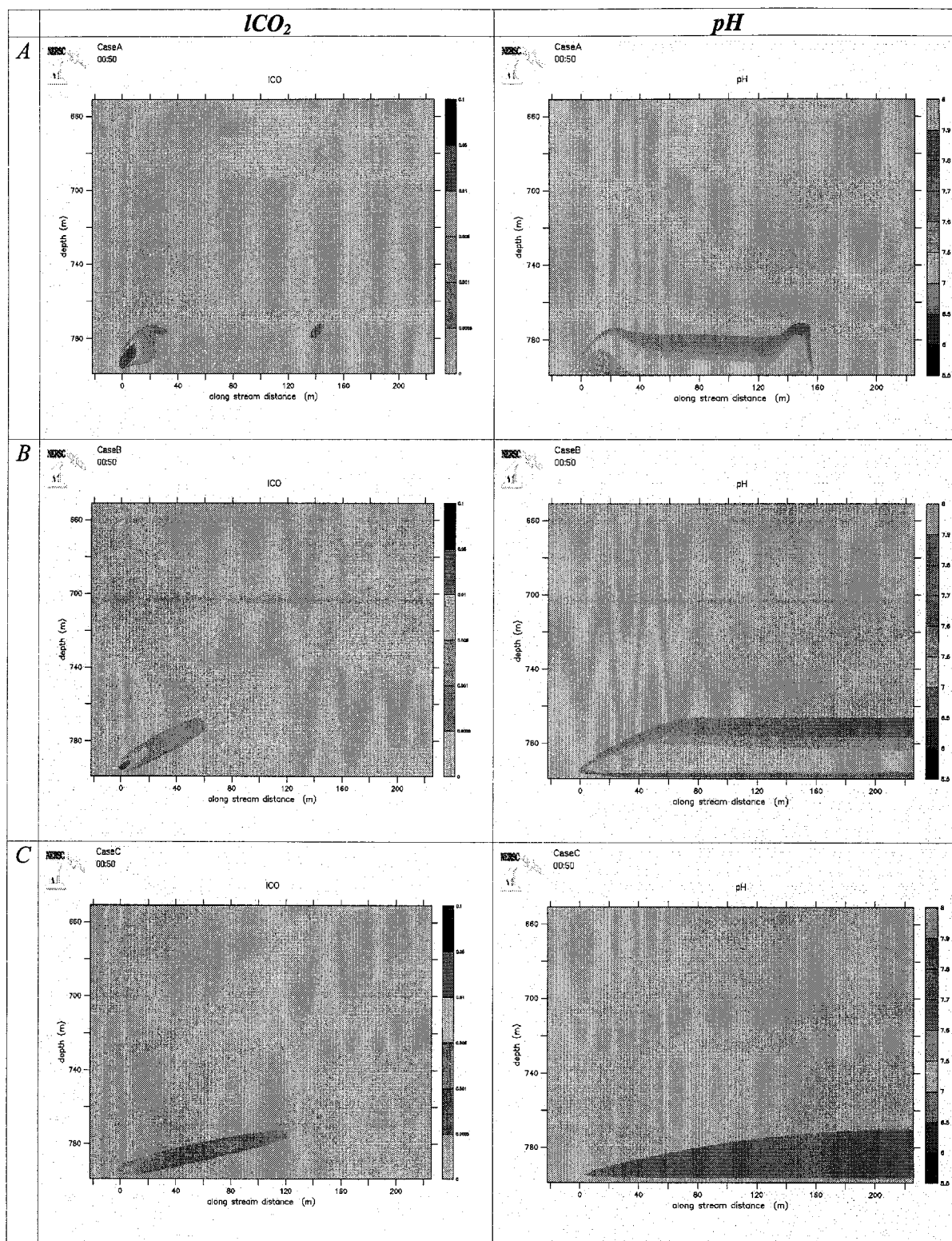
Injiserings parametere for de seks simuleringene

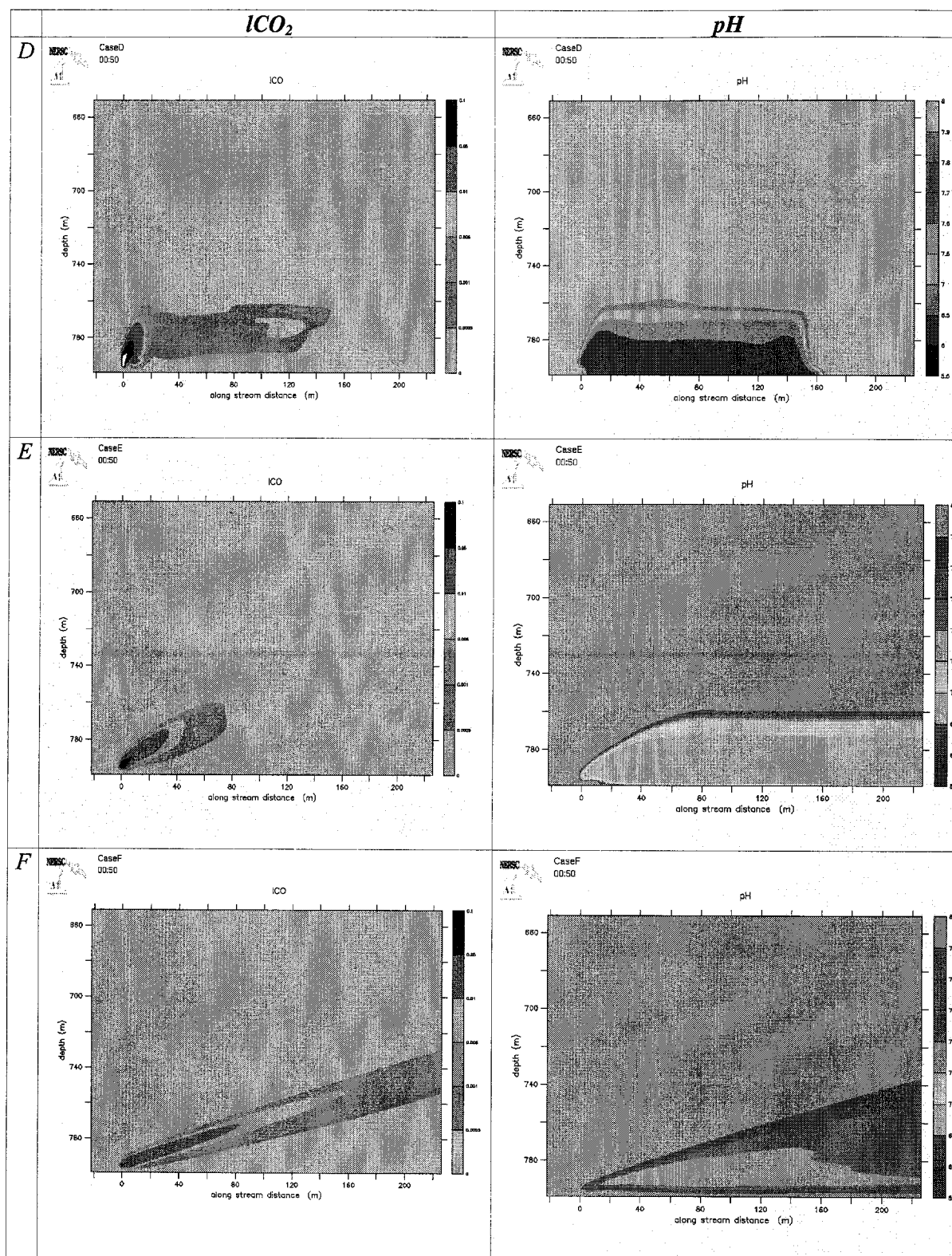
<i>Case</i>	<i>Injection rate</i>	<i>Droplet radius</i>	<i>Background current</i>
	<i>Kg/s</i>	<i>m</i>	<i>m/s</i>
A	0.1	0.002	0.05
B	0.1	0.002	0.20
C	0.1	0.002	0.50
D	0.6	0.002	0.05
E	0.6	0.002	0.20
F	0.6	0.004	0.50

For hver simulering foregår injiseringen over en time. Dråpe plumen når en "steady state" etter ca 10 minutter mens CO₂ konsentrasjonfeltet fortsetter nedstrøms. I tabell 2 er I_{CO2}, dvs. tetthet av flytende CO₂ inne i dråpene, og pH feltet vist 50 minutter etter at injeksjonen startet.

For de tre første er bakgrunnsstrømmen varierende. Økt bakgrunnshastighet gir laver CO₂ konsentrasjon, og dermed mindre pH reduksjon, fordi den blir løst opp i større vannmasser. Fluksen av sjøvann igjennom dråpe plumen er større.

I de tre siste simuleringene er injeksjonraten økt. Det gir naturligvis en sterkere pH reduksjon, mer CO₂ blir tilført. I det siste tilfellet er dråpestørrelsen doblet og dråpene spres ut av simularingsområdet nedstrøms. Dette er noe som er observert tidligere. Store dråper løser seg saktere opp, mindre overflate relativt til volum, og stigehastigheten er større. En tommelfinger regel er; store dråper i sterk strøm gir mindre pH reduksjon men større vannmasser er påvirket.





VEDLEGG F Måleprogram for eksperimentet

Feltekspperimentet vil bestå av en rekke delforsøk. Hvert enkelt er designet for å observere og vurdere oppførselen til flytende CO₂ som slippes ut i vannmassen ved ulike utslippsbetingelser og omgivende forhold. I hvert delforsøk skal CO₂ slippes ut med konstant massefluks fra dyser på utslippsenheten plassert på havbunnen. Utformingen av dysehoder (antall dyser og diameter på disse) og valg av massefluks er ventet å gi CO₂-dråper med ulik dråpestørrelse og karakteristikk (enkeltdråper, dråpesky, "atomiserte" dråper). Massefluksen for CO₂ varierer mellom 0,1 og 0,3 kg/s, og hvert utslipp vil vare i inntil 2 timer. Avhengig av værforhold skal ett eller flere delforsøk gjennomføres pr. dag, over en total forsøksperiode på totalt 10 dager.

Under forsøkene vil CO₂ danne flytende dråper med positiv oppdrift. Noen av dråpene vil ventelig dekkles av en hydratfilm. Dråpene stiger, og danner en "sky" som vil følge samme retning som den lokale vannstrømmen. Avhengig av deres initialstørrelse vil CO₂-dråpene gradvis løses i sjøvannet over et høydeintervall på noen titalls meter. Dynamikken til de stigende dråpene vil være kompleks, med medrivning og innblanding av sjøvann i den stigende skyen på grunn av dråpenes bevegelsesmoment. Samtidig vil CO₂-anrikt sjøvann langs sidene av den stigende skyen synke nedover på grunn av økt tetthet som følge av økt innhold av oppløst karbondioksid. Dette CO₂-anrikede sjøvannet vil slutte å synke når det er blandet ut med en tilstrekkelig mengde lettere sjøvann fra omgivelsene, og har nøytral oppdrift.

Forventet (tydelig målbart for pH/CO₂) influensområde for skyen er inntil ca. 1-200 m nedstrøms fra injeksjonspunktet. Utenfor dette området vil det svakt karbon-anrikede sjøvannet drive med strømmen mens det raskt fortynnes videre ved turbulente prosesser ned mot bakgrunnsnivåer for løst karbon og pH..

Målsetningene for måleprogrammet er å:

- observere dråpeskyens oppførsel (f.eks. interaksjon mellom sky og omgivende sjøvann, dråpenes stigehastighet, hydratdannelse) og å måle fortynning, pH og karbon-kjemi inne i skyen (dvs. innenfor en avstand på inntil ca. 1-200 m fra injeksjonspunktet).
- Måle eventuelle endringer i sjøvannet i større avstand fra dråpeskyen
- Se etter mulig biologisk påvirkning på pelagiske, bentiske og mikrobielle samfunn

Disse målene er beskrevet i de følgende tre delkapitlene, med referanser til instrumenter og plattform som vist i Figur 1. Etter at eksperimentet er avsluttet vil alt utstyr som har vært benyttet bli fjernet fra havbunnen.

Observasjoner av dråpeskyen

For gitt dysehode, CO₂-fluks og omgivende forhold håper vi å gjennomføre minst to utslippsforsøk. Under første forsøk skal en liten ROV (utstyrt med kamera, heretter referert til som RTV) observere oppførselen til dråper nær dysen vha et videokamera. Den vil også måle pH inne i plumen med en pH-sensor.

I etterfølgende forsøk skal en annen ROV krysse gjennom skyen, mens den gjør målinger og tar prøver fra vannsøylen og havbunnen innenfor en radius på et par hundre meter fra utslippsplattformen. Målingene vil omfatte konduktivitet, temperatur, trykk (fra dette kan salinitet og dyp beregnes) og pH både med en pH-sensor med lagringsenhet og en glasselektrode som gir data i sanntid.

En akustisk Doppler strømmåler (ADV) kan også festes på ROVen for å måle skyens hastighet og turbulens. Data fra de ulike måleinstrumentene sendes til forskningsfartøyet og brukes til å lage 3D-grafer av skyens karakteristikk (f.eks pH). I tillegg til å gi en oversikt over det datamaterialet som samles inn under hver undersøkelse kan disse dataene være til nytte i sanntid til å bestemme hvor ROVen skal beveges.

Vannprøver samles inn under undersøkelsene og analyseres for pH, løst inorganisk karbon (DIC) og ^{13}C ombord i forskningsfartøyet. PH-verdiene brukes til å kalibrere pH-sensorene, mens DIC og ^{13}C fungerer som ekstra sporstoff for dråpeskyen (som tillegg til pH). Vannprøvene vil også bli brukt til bakterieanalyse.

Som navigasjonsstøtte for ROV og RTV skal flere transpondere utplasseres på havbunnen. En bunnmontert ADCP (akustisk Doppler strømmåler) med akustisk modem skal gi en vertikal profil av vannstrøm og sende data til forskningsfartøyet. Dette vil være til hjelp med å bestemme i hvilken retning dråpeskyen beveger seg. Det er aktuelt å plassere flere strømmålere og pH-sensorer på havbunnen i egne rigger.

Etter målingene kan overvåkningsdataene brukes til å kalibrere matematiske modeller som den som er benyttet i simuleringene i denne søknaden. Sammen med data på biologiske tålegrenser kan disse modellene brukes til å forutsi biologisk påvirkning som en funksjon av utslipp og omgivende forhold (vannstrøm etc.).

Observasjoner i omgivelsene

Mens den dynamiske effekten av dråpeskyen vil være begrenset til ca. 100 m fra utslippspunktet, vil residualpåvirkninger forekomme også lengre unna. Disse effektene vil bli overvåket på flere vis.

Et par med vertikalprofilerende pH-sensorer skal plasseres på havbunnen ca. 200 m fra utslippspunktet, i begge retninger (parallelt med dybdekoten). Hver av disse "heisene" består av en pH-sensor med lagringsenhet, som kan heves og senkes for å gi vertikale profiler av pH-feltet. Det er å forvente at en av sensorene til enhver tid vil være oppstrøms og (mer eller mindre direkte) nedstrøms i forhold til utslippspunktet. Selv om det er lite sannsynlig at den andre sensor-enheten vil være nøyaktig i midten av skyen er det å forvente at spredningen av skyen vil være tilstrekkelig til at "heisen" i alle fall er inne i skyen og kan gi en vertikalprofil av pH-enderinger.

Forskningsfartøyet vil ha en standard CTD (instrumentpakke som måler konduktivitet, temperatur og dyp) som også skal utstyres med en eller flere pH-sensorer. Til sammen gir dette vertikalprofiler av temperatur, salinitet, tetthet og pH. CTDen har også utstyr for vannprøvetaking, som muliggjør målinger av pH, DIC og ^{13}C ombord på fartøyet som supplement til målingene fra ROVen. CTD-profilene vil bli tatt i avstand på opptil flere kilometer unna utslippspunktet, på tidspunkt der hverken ROV eller RTV er i bruk.

En hydrofon vil bli utplassert nær utslippspunktet for å måle støy generert ved dråpedannelsen, over et bredt frekvensbånd.

Overvåkning av marine ressurser.

Den lave tettheten av organismer i eksperimentdypet (se delkap. om fiskeri) gjør det vanskelig å overvåke biologiske effekter i sanntid ved bare å bruke video-overvåkning av naturlig

forekommende fauna. På grunn av dette vil vi bruke testorganismer som fraktes med ROven for å observere eventuelle skadelige effekter. Fordi disse organismene vil bli utsatt for en større dose CO₂ enn frie organismer, antas det at de vil fungere som sensitive indikatorer for mulig miljøskade forbundet med CO₂-utslipp på større skala. De kan også tenkes å være mer utsatt for påvirkning fra CO₂ på grunn av stress fra fangst og behandling i forkant av forsøket.

Det er planlagt å bruke bur med åte utplassert på havbunnen ved eksperimentstart. Når ROven skal gjennomføre undersøkelser for et gitt delforsøk vil den plukke opp to av burene, plassere en av dem oppstrøms av utslippspunktet som referanse og ta den andre med seg mens den gjennomfører andre undersøkelser. Buret som fraktes med ROven skal observeres i sanntid med kamera, og en pH-sensor vil være plassert på ROven nær buret for å gi en representativ indikasjon på endringer i pH. Biologer som er del av eksperimentet vil også kunne observere frie organismer som blir påvirket av dråpeskyen (f.eks. ved at de beveger seg mot eller bort fra skyen).

Zooplankton kan observeres under ett eller flere av delforsøkene ved å montere et eksperimentelt "dark-field" kamera på ROven. Kameraet er bygget for forsøkene og er spesielt designet for å kunne observere zooplankton.

ROven vil samle inn sediment før, under og etter CO₂-utslippene, for vurdering av potensielle effekter av CO₂ på bentisk meiofauna. Prøvene skal konserveres ombord i forskningsfartøyet og organismene blir identifisert og talt på land i ettertid.

For å vurdere mulig påvirkning av CO₂-havlagring på mikrobiologisk tilstand skal variasjoner i biomasse, produktivitet og vekst av bakterier bestemmes og sammenlignes med forholdene i den omgivende vannsøylen. Målinger av næringssalter (løste samt partikulært organisk karbon og organisk nitrogen) vil bli gjennomført for å vurdere samsvar med de direkte målingene. Disse målingene vil synliggjøre endringer i tilgang på substrat som kan påvirke bakteriell aktivitet under CO₂-injeksjon. Analyse av bakteriesyklusrater kombinert med analyse av variasjonen i bakteriell genetisk diversitet kan brukes til å tolke stress som kan skyldes endringer i pH. Slik informasjon vil gi økt kunnskap om effekten av forsuring i vannsøylen på marine næringskjeder.