

Ilmastonmuutos ja Suomen metsät

5.11.2021 Pauliina Schiestl-Aalto



HELSINGIN YLIOPISTO

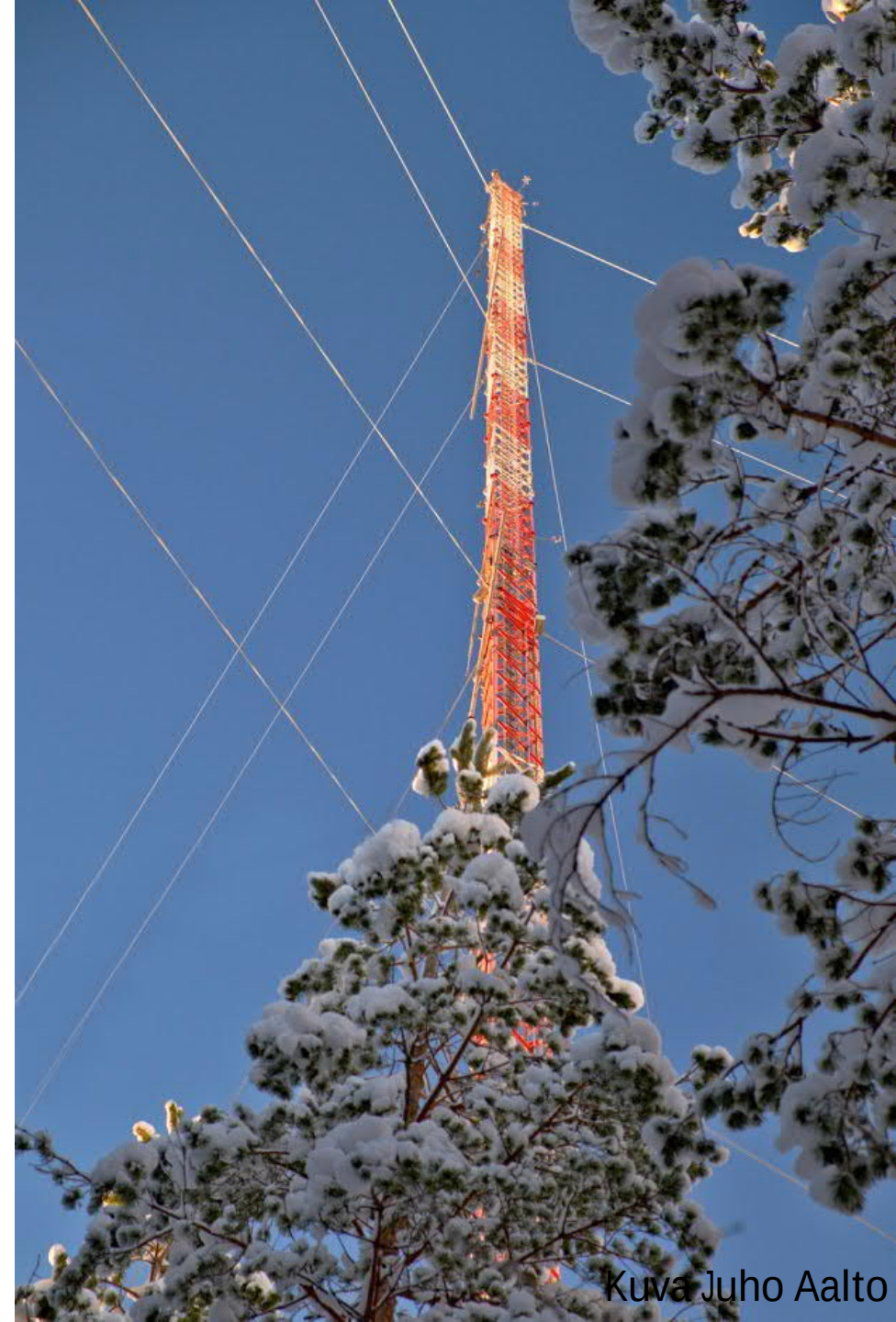


Institute for Atmospheric and Earth System Research

Kuva Juho Aalto

Sisältö

1. Ilmastonmuutoksen perusteet
2. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin
3. Metsien vaikutukset ilmastonmuutokseen
4. Metsien ja ilmakehän välisten vuorovaikutusten tutkiminen ja mittaaminen



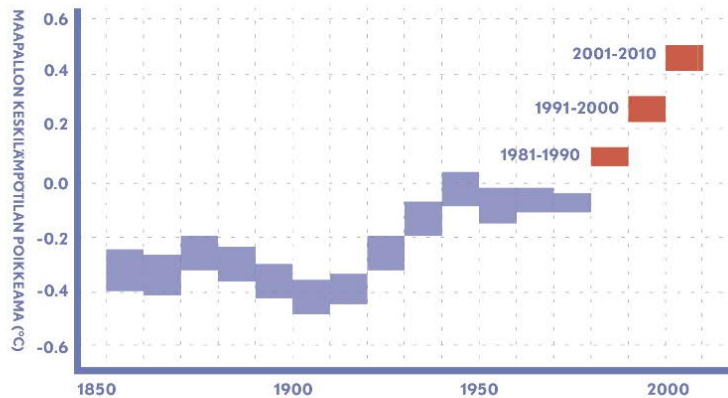
1. Ilmastonmuutoksen perusteet



Lämpötila:

Maailmanlaajuisesti

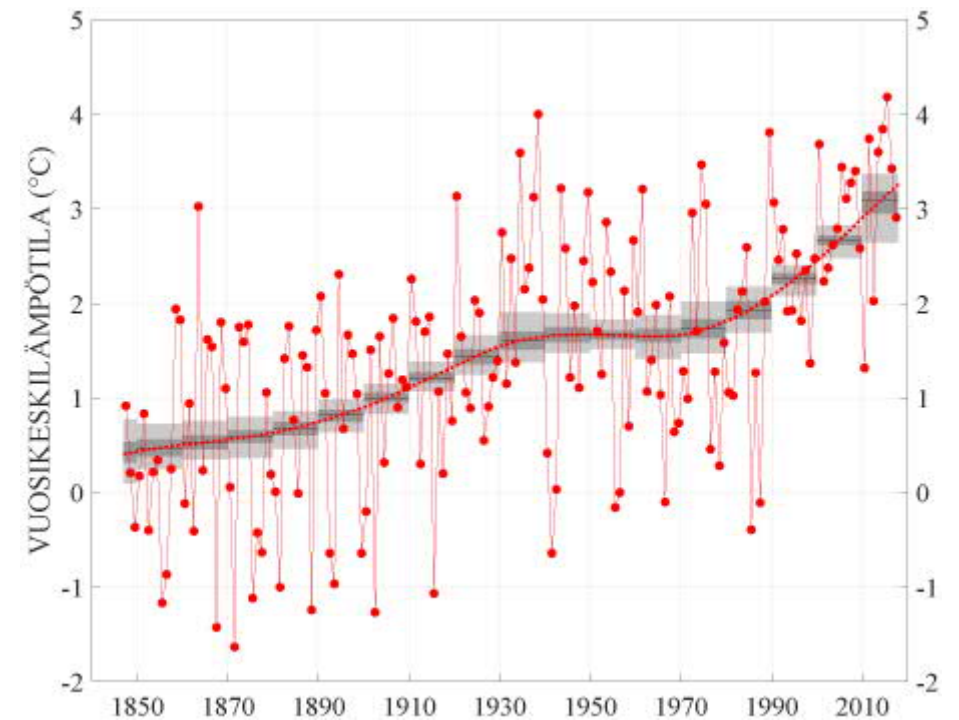
**JOKAINEN KOLMESTA EDELLISESTÄ VUOSIKYMMENESTÄ
ON OLLUT LÄMPIMÄMPI KUIN MIKÄÄN AIKAISEMPI
VUOSIKYMMEN VUODESTA 1850 LÄHTIEN.**



**MAAPALLON KESKILÄMPÖTILA
ON KOHONNUT**

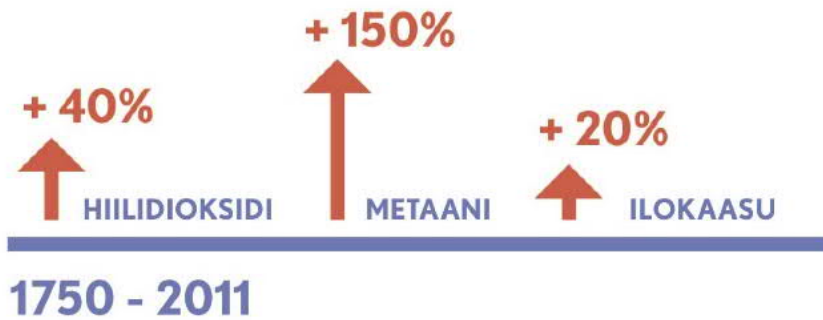
↑ +0,85 °C
1880-2012

Suomessa



Kasvihuonekaasut:

KASVIHUONEKAASUPITOISUUDET OVAT LISAANTYNEET VUODESTA 1750.



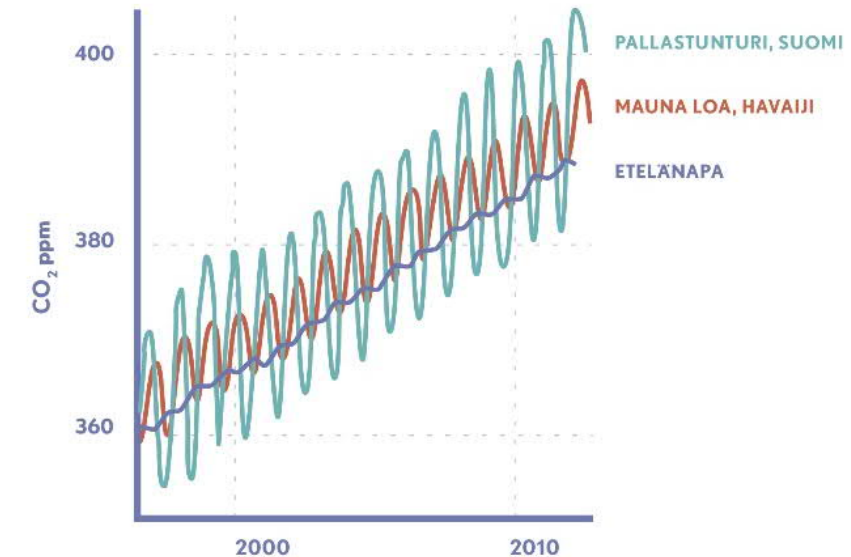
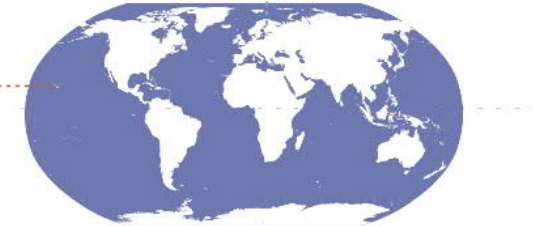
Teollistumista edeltävästä ajasta nykyaikaan.

ILMAKEHÄN HIILIDIOKSIDIPITOISUUDEN KEHITYS:

PALLASTUNTURI, SUOMI

MAUNA LOA, HAVAIJI

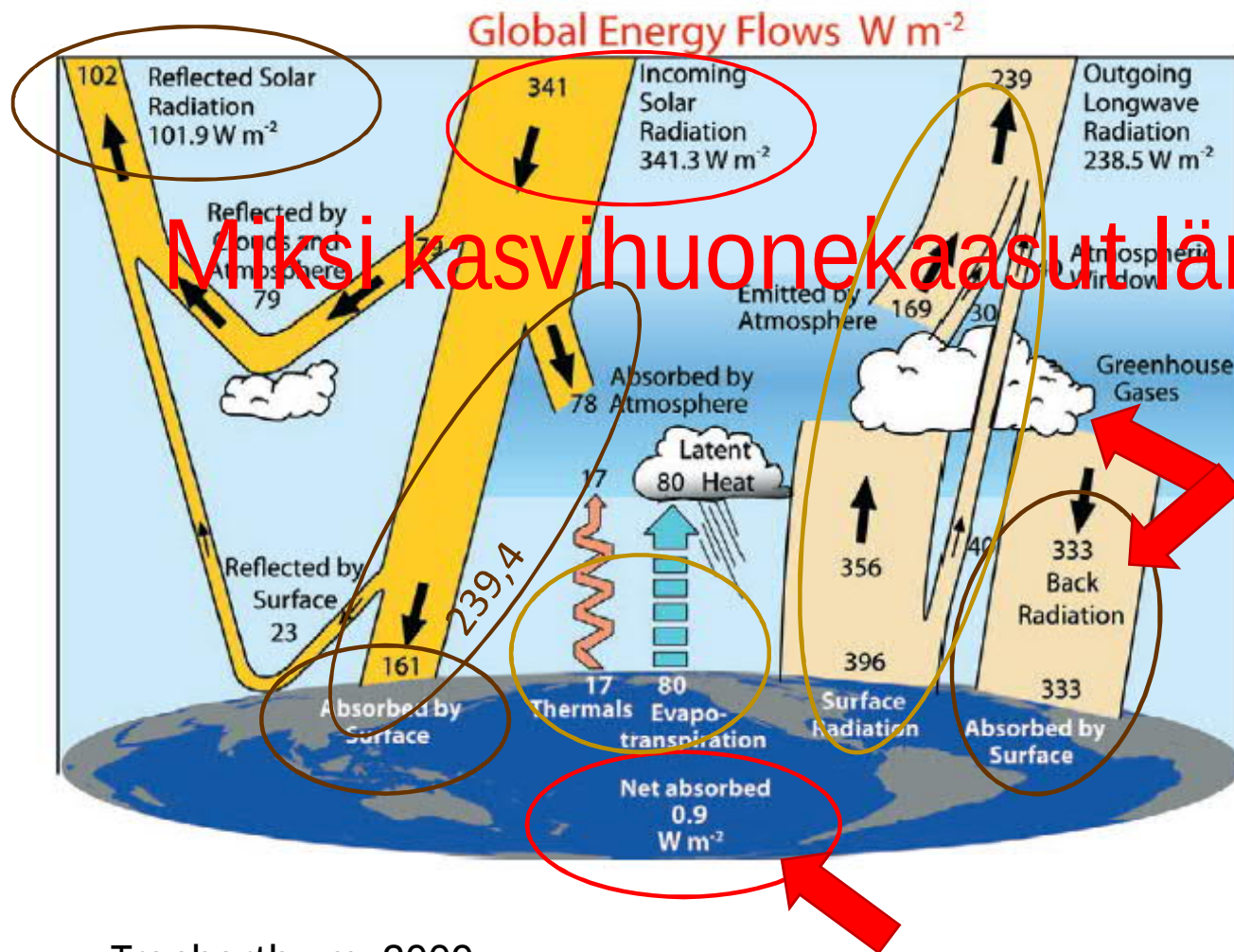
ETELÄNAPA



Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG1-osaraportin tietoihin.

Pallaksen lukuarvojen lähde: Ilmatieteen laitos

Globaali säteilytase:



Trenberth ym. 2009

*ENERGIA*auringosta

= *ENERGIA*heijastunut + *ENERGIA*maapallolle

Miksi kasvihuonekaasut lämmittävät maapalloa?

*ENERGIA*maapallolle

= *ENERGIA*ulos + *ENERGIA*jäävä

Säteilypakote:

ILMASTOA LÄMMITTÄVIEN JA VIILENTÄVIEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS

**KASVIHUONEKAASUJEN
LÄMMITTÄVÄ VAIKUTUS**

+0,5 – 1,3 °C
1951-2010

**PIENHIUKKASTEN
VIILENTÄVÄ VAIKUTUS**

-0,6 – 0,1 °C
1951-2010

**AURINKO, TULIVUORET
ym. muut kuin ihmisen
toiminnasta aiheutuvat
vaikutukset**

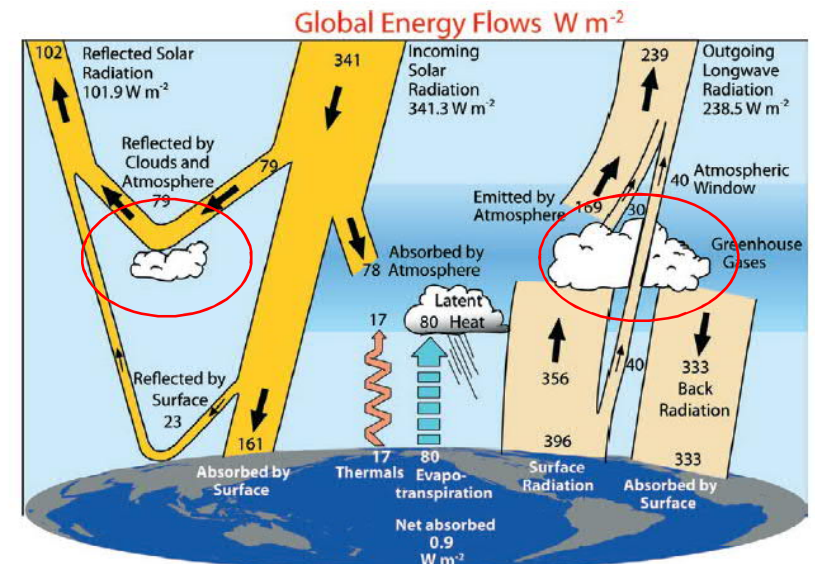
-0,1 – 0,1 °C
1951-2010



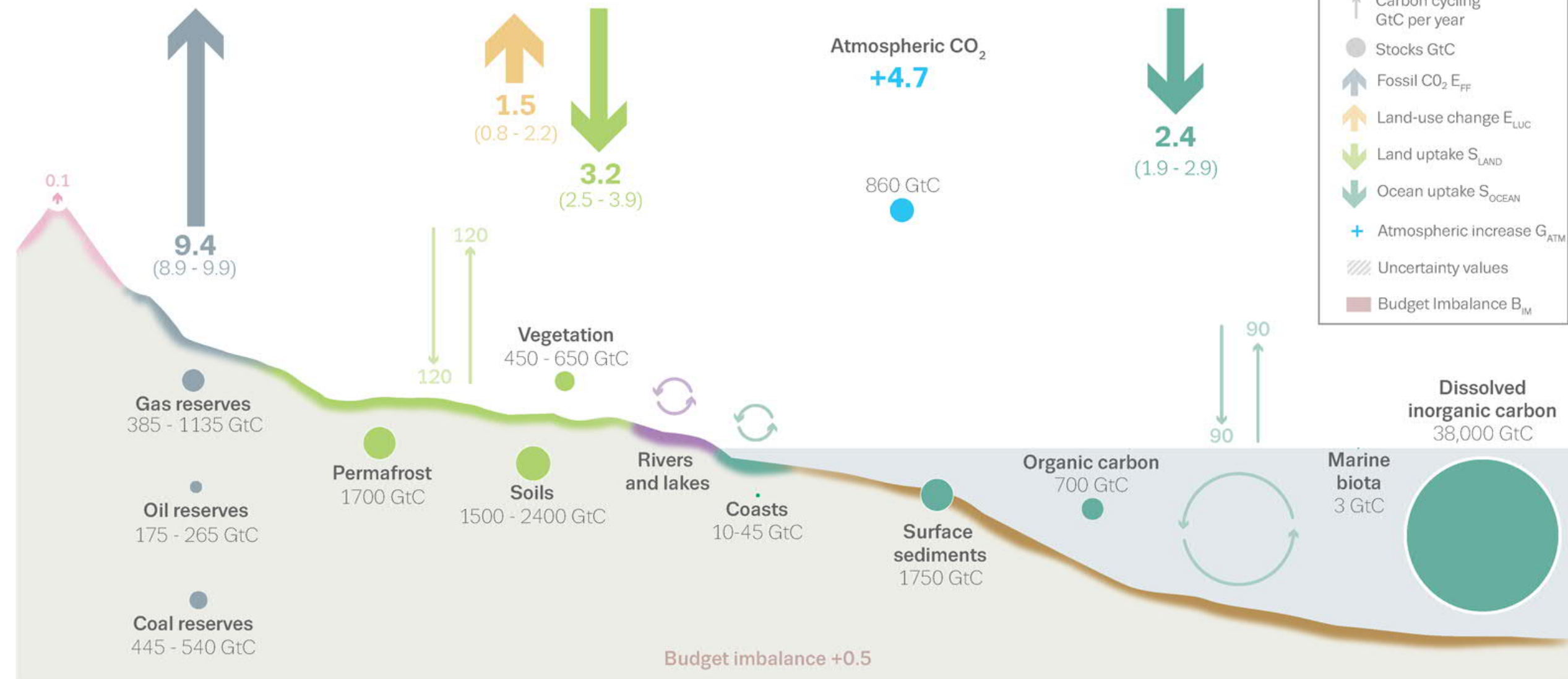
Säteilypakotteella kuvataan maapallolle tulevan ja sieltä lähtevän säteilyn välistä eroa. Positiivisen säteilypakotteen vaikutus on ilmastoa lämmittävä, negatiivisen viilentävä.

- Lisäksi lämpötila heilahtelee satunnaisesti $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ilma luonnollisista vaihteluista johtuen.
- Muista pienhiukkasista poiketen noki eli musta hiili lämmittää ilmastoa.

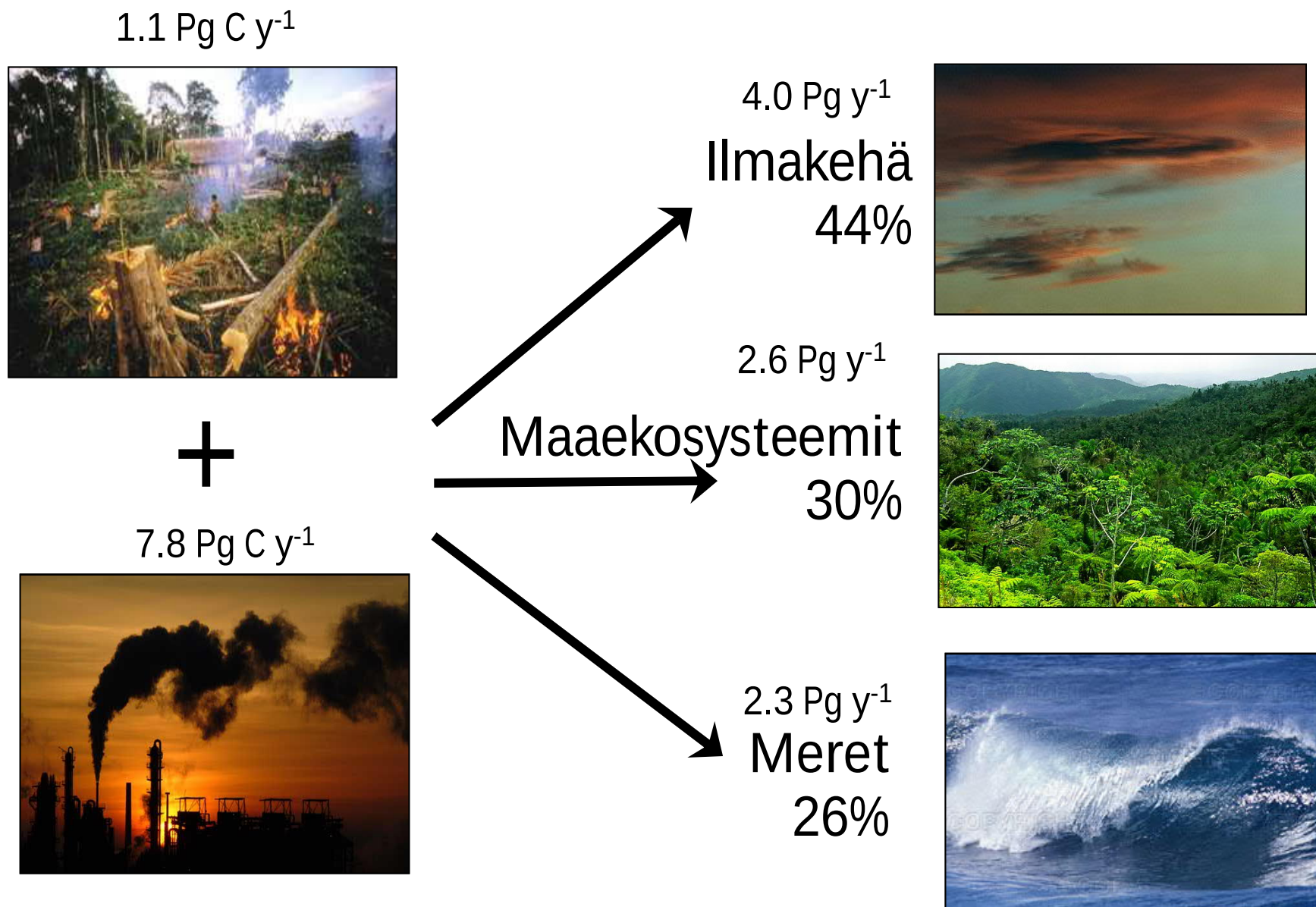
Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG1-osaraportin tietoihin.



The global carbon cycle



Ilmastonmuutos ja hiilen nielut



Ilmastomuutoksen vaikutukset globaalisti

Maapallon keskilämpötilan väliaikainenkin nousu yli 1,5 asteen aiheuttaa muutoksia, joista osa on pysyviä.

VÄLIAIKAISTA VAHINKOJA

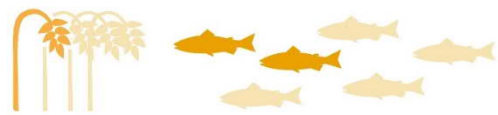
Sään ääri-ilmiöt yleistyvät



Kuumuuden terveyshaitat lisääntyvät



Maatalous ja kalastus vaikeutuvat



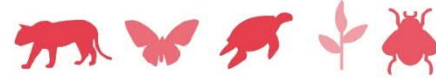
Pohjautuu IPCC:n 1,5 asteen raportin tuloksiin. © Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.

PERUUTTAMATONTA VAHINKOJA

Koralliriuttoja tuhoutuu



Lajeja kuolee sukupuuttoon



Jäätiköt sulavat, rannikkotulvat yleistyvät

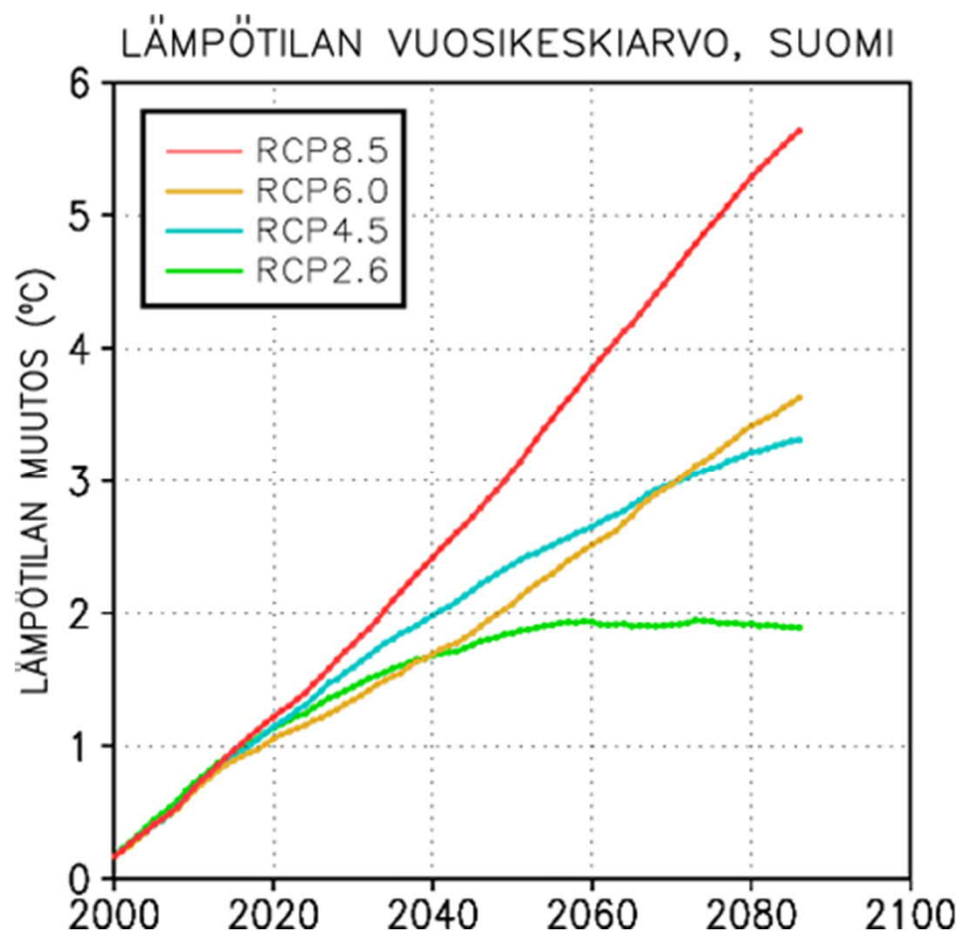


Maailman köyhät kokevat ilmastomuutoksen pahimmat seuraukset.



Pohjautuu IPCC:n 1,5 asteen raportin tuloksiin. © Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.

Ilmastomuutoksen vaikutukset: Suomi



Taulukko 1. Suuntaa-antava kuvaus sateisiin liittyvistä muutoksista Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosisadan lopulle tultaessa vuodenajoinn (talvi: joulukuu-helmikuu, kevät: maaliskuu-toukokuu, kesä: kesä-elokuu, syys: syys-marraskuu. Ennallaan-merkintä tarkoittaa, että ilmiössä ei odoteta tapahtuvan merkittävää muutosta. [\[3\]](#) ja [\[6\]](#) päivitettyinä.

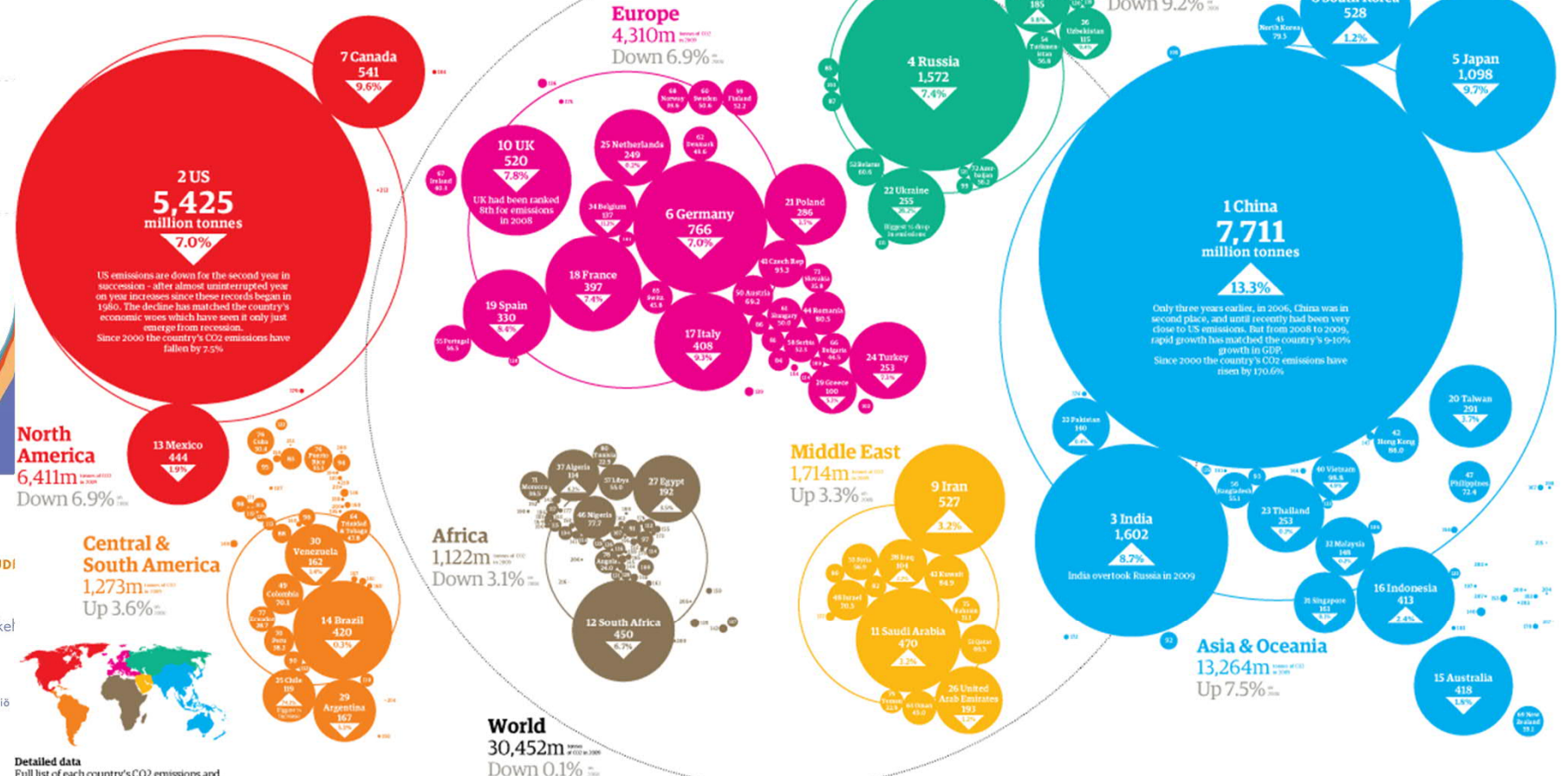
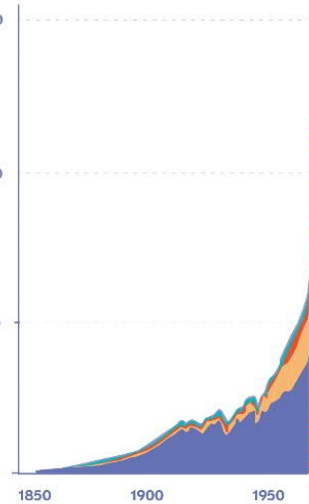
Muuttuja	Alue	Talvi	Kevät	Kesä	Syys	Vuosi
Keskimääräinen sademäärä	Pohjois-Suomi	kasvaa huomattavasti	kasvaa	kasvaa	kasvaa	kasvaa
	Etelä-Suomi	kasvaa	kasvaa	ennallaan	kasvaa	kasvaa
Sadepäivien määrä	Pohjois-Suomi	lisääntyy	ennallaan	ennallaan	lisääntyy	lisääntyy
	Etelä-Suomi	lisääntyy	ennallaan	ennallaan	ennallaan	lisääntyy
Rankkasateiden voimakkuus	Pohjois-Suomi	lisääntyy	lisääntyy	lisääntyy	lisääntyy	lisääntyy
	Etelä-Suomi	lisääntyy	lisääntyy	lisääntyy	lisääntyy	lisääntyy
Sateettomien poutajaksojen pituus	Pohjois-Suomi	lyhenee	ennallaan	ennallaan	lyhenee	lyhenee
	Etelä-Suomi	lyhenee	ennallaan	ennallaan	ennallaan	ennallaan

An atlas of pollution: the world in carbon dioxide emissions

Maailman hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet huomattavasti

Latest data published by the US Energy Information Administration provides a unique picture of economic growth - and decline. China has sped ahead of the US, as shown by this map, which resizes each country according to CO2 emissions. And, for the first time, world emissions have gone down

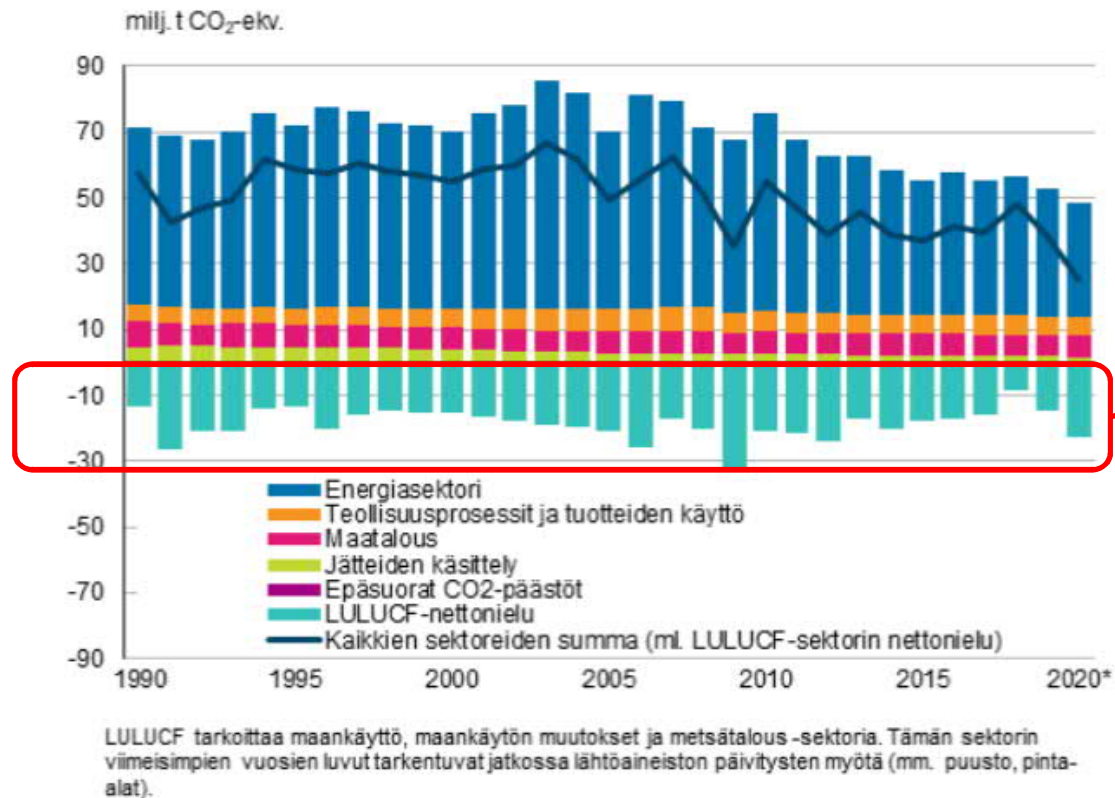
FOSFIILISTEN POLTTOAINEIDEN JA SEMENTTITUOTANNON
HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT, GT VUODESSA



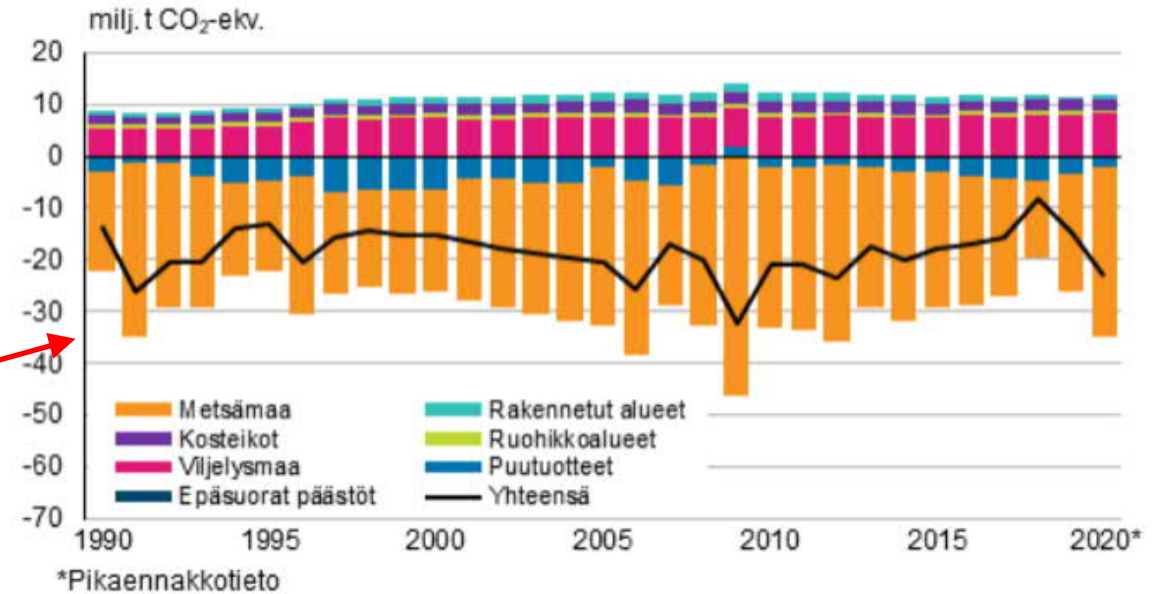
Detailed data
Full list of each country's CO2 emissions and movement in the world emissions league table

Rank	Country	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	1989	1988	1987	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966	1965	1964	1963	1962	1961	1960	1959	1958	1957	1956	1955	1954	1953	1952	1951	1950	1949	1948	1947	1946	1945	1944	1943	1942	1941	1940	1939	1938	1937	1936	1935	1934	1933	1932	1931	1930	1929	1928	1927	1926	1925	1924	1923	1922	1921	1920	1919	1918	1917	1916	1915	1914	1913	1912	1911	1910	1909	1908	1907	1906	1905	1904	1903	1902	1901	1900	1899	1898	1897	1896	1895	1894	1893	1892	1891	1890	1889	1888	1887	1886	1885	1884	1883	1882	1881	1880	1879	1878	1877	1876	1875	1874	1873	1872	1871	1870	1869	1868	1867	1866	1865	1864	1863	1862	1861	1860	1859	1858	1857	1856	1855	1854	1853	1852	1851	1850	1849	1848	1847	1846	1845	1844	1843	1842	1841	1840	1839	1838	1837	1836	1835	1834	1833	1832	1831	1830	1829	1828	1827	1826	1825	1824	1823	1822	1821	1820	1819	1818	1817	1816	1815	1814	1813	1812	1811	1810	1809	1808	1807	1806	1805	1804	1803	1802	1801	1800	1799	1798	1797	1796	1795	1794	1793	1792	1791	1790	1789	1788	1787	1786	1785	1784	1783	1782	1781	1780	1779	1778	1777	1776	1775	1774	1773	1772	1771	1770	1769	1768	1767	1766	1765	1764	1763	1762	1761	1760	1759	1758	1757	1756	1755	1754	1753	1752	1751	1750	1749	1748	1747	1746	1745	1744	1743	1742	1741	1740	1739	1738	1737	1736	1735	1734	1733	1732	1731	1730	1729	1728	1727	1726	1725	1724	1723	1722	1721	1720	1719	1718	1717	1716	1715	1714	1713	1712	1711	1710	1709	1708	1707	1706	1705	1704	1703	1702	1701	1700	1699	1698	1697	1696	1695	1694	1693	1692	1691	1690	1689	1688	1687	1686	1685	1684	1683	1682	1681	1680	1679	1678	1677	1676	1675	1674	1673	1672	1671	1670	1669	1668	1667	1666	1665	1664	1663	1662	1661	1660	1659	1658	1657	1656	1655	1654	1653	1652	1651	1650	1649	1648	1647	1646	1645	1644	1643	1642	1641	1640	1639	1638	1637	1636	1635	1634	1633	1632	1631	1630	1629	1628	1627	1626	1625	1624	1623	1622	1621	1620	1619	1618	1617	1616	1615	1614	1613	1612	1611	1610	1609	1608	1607	1606	1605	1604	1603	1602	1601	1600	1599	1598	1597	1596	1595	1594	1593	1592	1591	1590	1589	1588	1587	1586	1585	1584	1583	1582	1581	1580	1579	1578	1577	1576	1575	1574	1573	1572	1571	1570	1569	1568	1567	1566	1565	1564	1563	1562	1561	1560	1559	1558	1557	1556	1555	1554	1553	1552	1551	1550	1549	1548	1547	1546	1545	1544	1543	1542	1541	1540	1539	1538	1537	1536	1535	1534	1533	1532	1531	1530	1529	1528	1527	1526	1525	1524	1523	1522	1521	1520	1519	1518	1517	1516	1515	1514	1513	1512	1511	1510	1509	1508	1507	1506	1505	1504	1503	1502	1501	1500	1499	1498	1497	1496	1495	1494	1493	1492	1491	1490	1489	1488	1487	1486	1485	1484	1483	1482	1481	1480	1479	1478	1477	1476	1475	1474	1473	1472	1471	1470	1469	1468	1467	1466	1465	1464	1463	1462	1461	1460	1459	1458	1457	1456	1455	1454	1453	1452	1451	1450	1449	1448	1447	1446	1445	1444	1443	1442	1441	1440	1439	1438	1437	1436	1435	1434	1433	1432	1431	1430	1429	1428	1427	1426	1425	1424	1423	1422	1421	1420	1419	1418	1417	1416	1415	1414	1413	1412	1411	1410	1409	1408	1407	1406	1405	1404	1403	1402	1401	1400	1399	1398	1397	1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	1384	1383	1382	1381	1380	1379	1378	1377	1376	1375	1374	1373	1372	1371	1370	1369	1368	1367	1366	1365	1364	1363	1362	1361	1360	1359	1358	1357	1356	1355	1354	1353	1352	1351	1350	1349	1348	1347	1346	1345	1344	1343	1342	1341	1340	1339	1338	1337	1336	1335	1334	1333	1332	1331	1330	1329	1328	1327	1326	1325	1324	1323	1322	1321	1320	1319	1318	1317	1316	1315	1314	1313	1312	1311	1310	1309	1308	1307	1306	1305	1304	1303	1302	1301	1300	1299	1298	1297	1296	1295	1294	1293	1292	1291	1290	1289	1288	1287	1286	1285	1284	1283	1282	1281	1280	1279	1278	1277	1276	1275	1274	1273	1272	1271	1270	1269	1268	1267	1266	1265	1264	1263	1262	1261	1260	1259	1258	1257	1256	1255	1254	1253	1252	1251	1250	1249	1248	1247	1246	1245	1244	1243	1242	1241	1240	1239	1238	1237	1236	1235	1234	1233	1232	1231	1230	1229	1228	1227	1226	1225	1224	1223	1222	1221	1220	1219	1218	1217	1216	1215	1214	1213	1212	1211	1210	1209	1208	1207	1206	1205	1204	1203	1202	1201	1200	1199	1198	1197	1196	1195	1194	1193	1192	1191	1190	1189	1188	1187	1186	1185	1184	1183	1182	1181	1180	1179	1178	1177	1176	1175	1174	1173	1172	1171	1170	1169	1168	1167	1166	1165	1164	1163	1162	1161	1160	1159	1158	1157	1156	1155	1154	1153	1152	1151	1150	1149	1148	1147	1146	1145	1144	1143	1142	1141	1140	1139	1138	1137	1136	1135	1134	1133	1132	1131	1130	1129	1128	1127	1126	1125	1124	1123	1122	1121	1120	1119	1118	1117	1116	1115	1114	1113	1112	1111	1110	1109	1108	1107	1106	1105	1104	1103	1102	1101	1100	1099	1098	1097	1096	1095	1094	1093	1092	1091	1090	1089	1088	1087	1086	1085	1084	1083	1082	1081	1080	1079	1078	1077	1076	1075	1074	1073	1072	1071	1070	1069	1068	1067	1066	1065	1064	1063	1062	1061	1060	1059	1058	1057	1056	1055	1054	1053	1052	1051	1050	1049	1048	1047	1046	1045	1044	1043	1042	1041	1040	1039	1038	1037	1036	1035	1034	1033	1032	1031	1030	1029	1028	1027	1026	1025	1024	1023	1022	1021	1020	1019	1018	1017	1016	1015	1014	1013	1012	1011	1010	1009	1008	1007	1006	1005	1004	1003	1002	1001	1000	999	998	997	996	995	994	993	992	991	990	989	988	987	986	985	984	983	982	981	980	979	978	977	976	975	974	973	972	971	970	969	968	967	966	965	964	963	962	961	960	959	958	957	956	955	954	953	952	951	950	949	948	947	946	945	944	943	942	941	940	939	938	937	936	935	934	933	932	931	930	929	928	927	926	925	924	923	922	921	920	919	918	917	916	915	914	913	912	911	910	909	908	907	906	905	904	903	902	901	900	899	898	897	896	895	894	893	892	891	890	889	888	887	886	885	884	883	882	881	880	879	878	877	876	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831	830	829	828	827	826	825	824	823	822	821	820	819	818	817	816	815	814	813	812	811	810	809	808	807	806	805	804	803	802	801	800	799	798	797	796	795	794	793	792	791	790	789	788	787	786	785
------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa



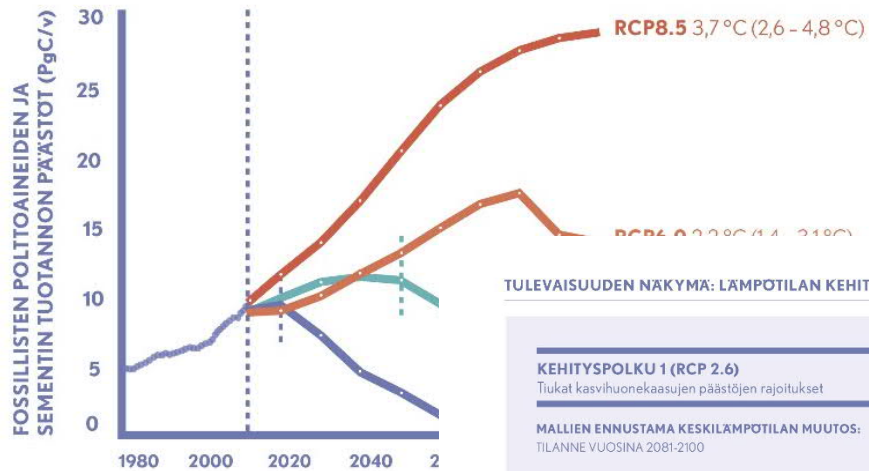
Kuvio 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain. Tilastokeskus.



Kuvio 3. Kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorilla 1990–2020 (päästöt positiivisia ja poistumat negatiivisia lukuja). Tilastokeskus.

RCP-KASVIHUONEKAASUSKENAARIOT

IPCC on määritellyt uudessa raportissaan neljä uutta päästöskenaariota.



KEHITYSPOLKU 2 (RCP 8.5)

Nykytahdilla kasvavat kasvihuonekaasujen päästöt

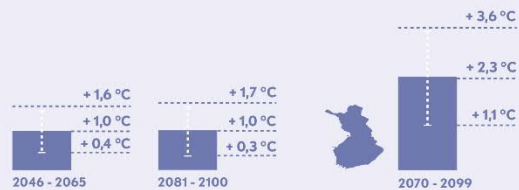
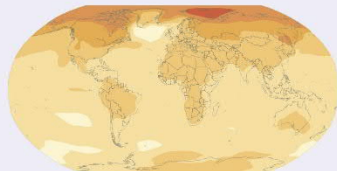
RCP 6.0

TULEVAISUUDEN NÄKYMÄ: LÄMPÖTILAN KEHITYS

KEHITYSPOLKU 1 (RCP 2.6)

Tiukat kasvihuonekaasujen päästöjen rajoitukset

MALLIEN ENNUSTAMA KESKILÄMPÖTILAN MUUTOS:
TILANNE VUOSINA 2081-2100



MAAPALLON KESKILÄMPÖTILAN MUUTOS

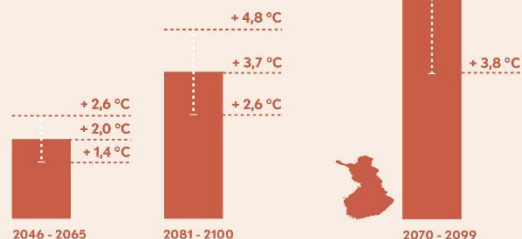
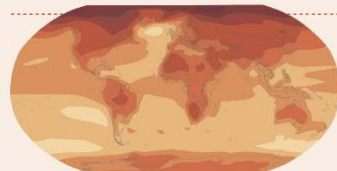
VUODEN KESKILÄMPÖTILAN MUUTOS SUOMESSA

MUUTOKSET LASKETTU SUHTEESSA JAKSON 1986-2005.
(SUOMELLE 1971-2000) KESKILÄMPÖTILAAN.

KEHITYSPOLKU 2 (RCP 8.5)

Nykytahdilla kasvavat kasvihuonekaasujen päästöt

MALLIEN ENNUSTAMA KESKILÄMPÖTILAN MUUTOS:
TILANNE VUOSINA 2081-2100



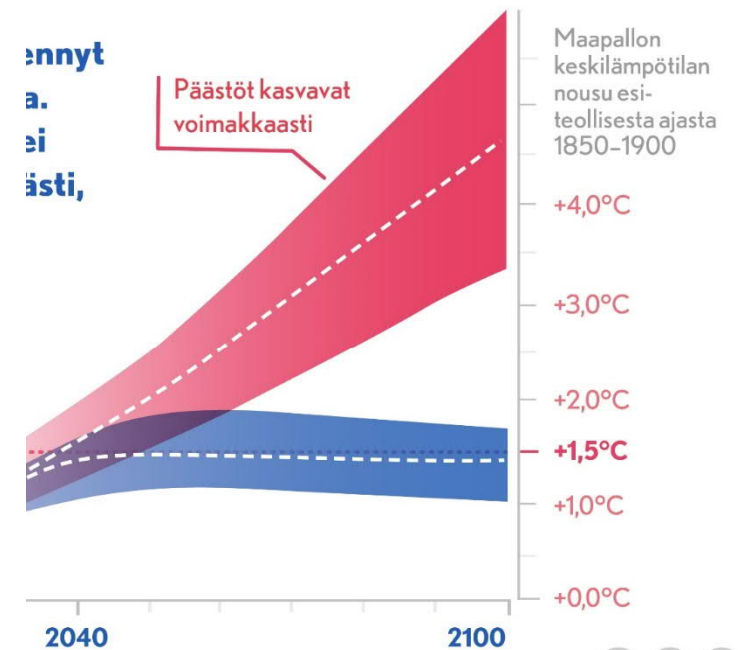
MAAPALLON KESKILÄMPÖTILAN MUUTOS

VUODEN KESKILÄMPÖTILAN MUUTOS SUOMESSA

MUUTOKSET LASKETTU SUHTEESSA JAKSON 1986-2005
(SUOMELLE 1971-2000) KESKILÄMPÖTILAAN.

ennyt
a.
ei
ästi,

Päästöt kasvavat
voimakkaasti

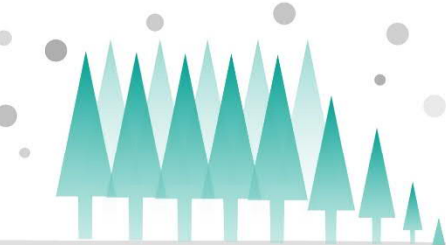


Tulevaisuutta koskevista arvoista annetaan niiden laskennallinen paras arvio ja todennäköinen luotettavuusväli.
Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG1-osaraportin tietoihin. Suomen lukuarvojen lähde: Ilmatieteen laitos.

itos ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.



Päästöjen vähentäminen ei yksin riitä rajoittamaan maapallon keskilämpötilan nousua 1,5 asteeseen. Hiilidioksidia on pystyttävä myös poistamaan ilmakehästä.



HIILIDIOKSIDIN SIDONTA

Sidotaan ilmakehän hiilidioksidia maa- ja metsätaloudessa, turvataan luonnonympäristöjen hiilinielut. Suositetaan materiaaleja, joissa ilmakehän hiilidioksidi varastoituu pitkäaikaisesti.

Pohjautuu IPCC:n 1,5 asteen raportin tuloksiin. © Ilmatieteen laitos ja

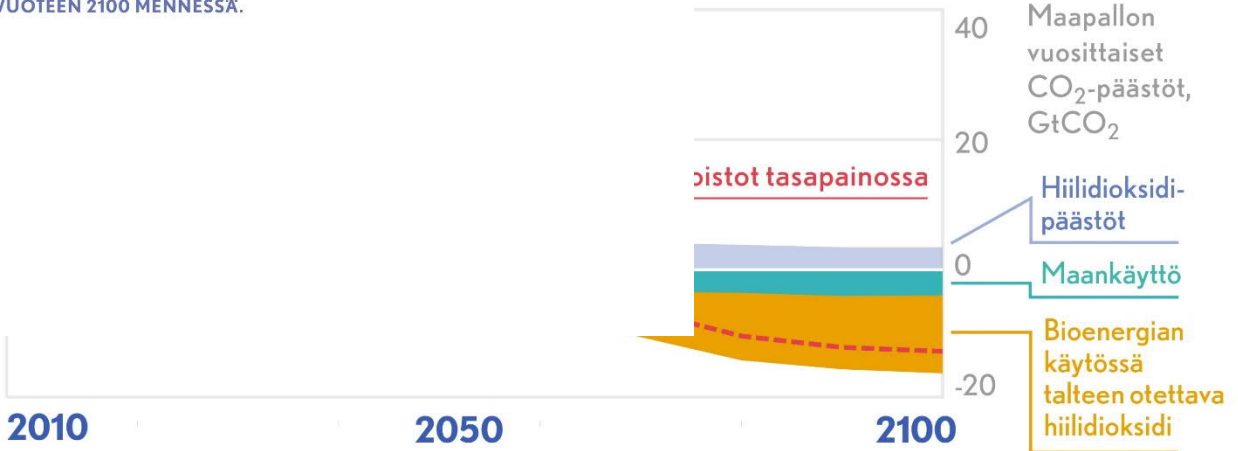
HILLINTÄKUSTANNUKSET

↑ +3%

NOIN KOLME PROSENTTIA MAAILMAN BRUTTOKANSANTUOTTEESTA TARVITTAISIIN ESTÄMÄÄN ILMASTOA LÄMPENEMÄSTÄ YLI KAHTA ASTETTA VUOTEEN 2100 MENNESSÄ.

Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG3-osaraportin tietoihin. VTT & ympäristöministeriö

asteeseen, päästöjen ja poistojen ssä. Mitä hitaammin päästöjä pitää poistaa ilmakehästä.



GtCO₂ = miljardia tonnia hiilidioksidia

Pohjautuu IPCC:n 1,5 asteen raportin tuloksiin. © Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.

Hiilen nielut

“There is general agreement that the technical potential for sequestration of carbon in soil is significant, and some consensus on the magnitude of that potential. Current estimates range between 0.90 and 1.85 Pg C/yr”
- Zomer ym. 2017. Nature Science

“The majority of studies suggest a global biophysical potential with the longer-term, if frontier technologies are successfully deployed, the global estimate might grow to 8 GtCO₂/y”
- Paustian ym. 2019. Frontiers in Climate 16.

**Nielujen potentiaali
suuri!**

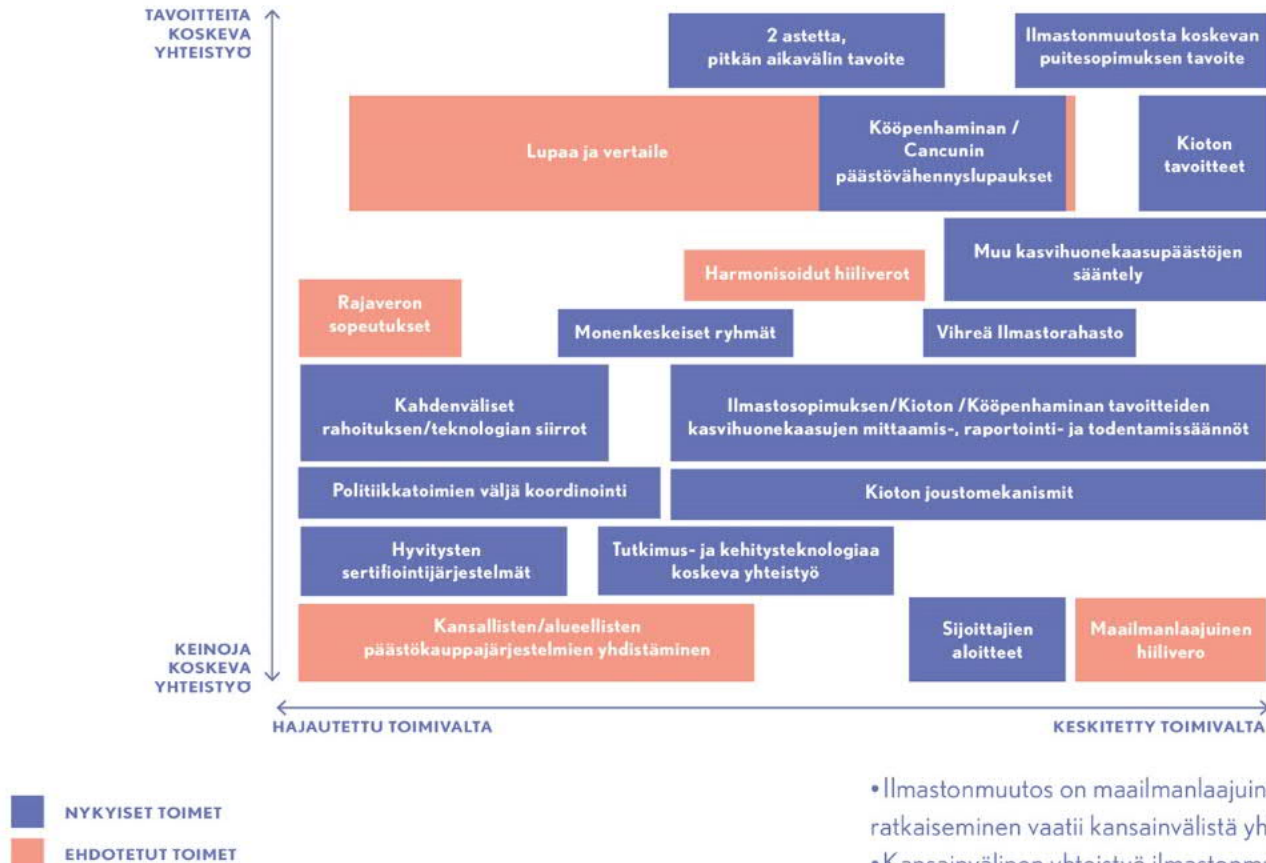
“The global technical potential of terrestrial C sequestration is some 333 Pg C by the end of the century [4.2 Pg C / yr], equivalent to a reduction of 156 ppm. This must be achieved by policymakers and those responsible for land use and management.”
- International Panel of Soil and Water Conservation

HUOM!

- Pg = "petagrammaa" = Gt = "gigatonnia"
- 1 kg C $\approx$ 4 kg CO₂

Ilmastomuutoksen hillintä: kansainvälinen yhteistyö

Kansainvälisen ilmastopoliitiikan ohjauskeinoja ja mekanismeja



- Ilmastomuutos on maailmanlaajuinen ongelma, jonka ratkaiseminen vaatii kansainvälistä yhteistyötä.
- Kansainvälinen yhteistyö ilmastomuutoksen hillinnässä on monipuolistunut viime vuosina.
- Ilmastomuutoskysymysten käsittely on viime aikoina laajentunut YK:n ilmastopöytäkirjan ulkopuolelle, mutta sopimus on silti edelleen keskeisin toimielin.

2. Metsien vaikutukset ilmastonmuutokseen

Metsän vaikutukset ilmastonmuutokseen

1) Metsä sitoo ja vapauttaa hiilidioksidia

- Tärkein vaikutus, usein ainoa huomioitu tekijä



2) Albedo: maanpinta absorboi (imee) säteilyä

- Kasvillisuus vaikuttaa absorboidun säteilyn määrään



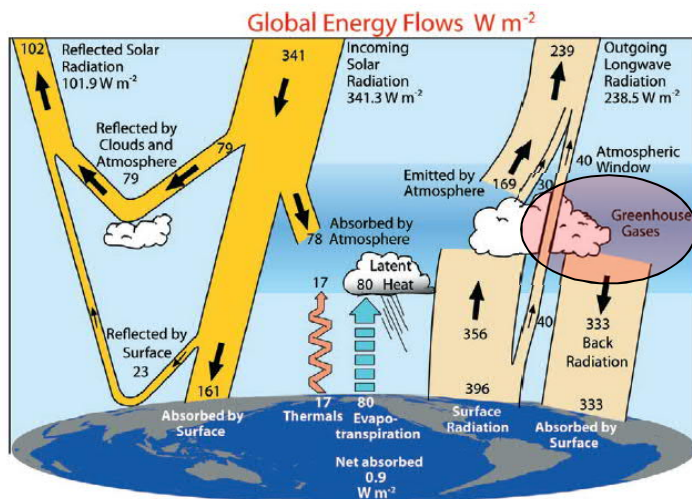
3) Metsä on tärkeä ilmakehän pienhiukkasten lähde

- Hiukkaset hajottavat säteilyä ja lisäävät pilvien muodostumista

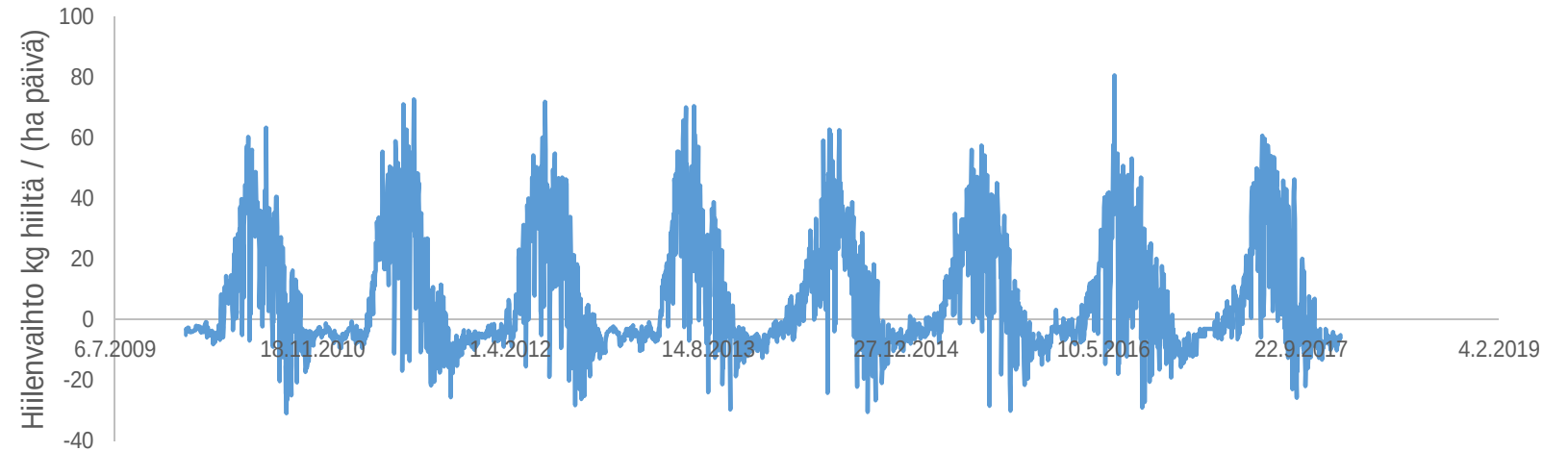


1) Hiilensidonta

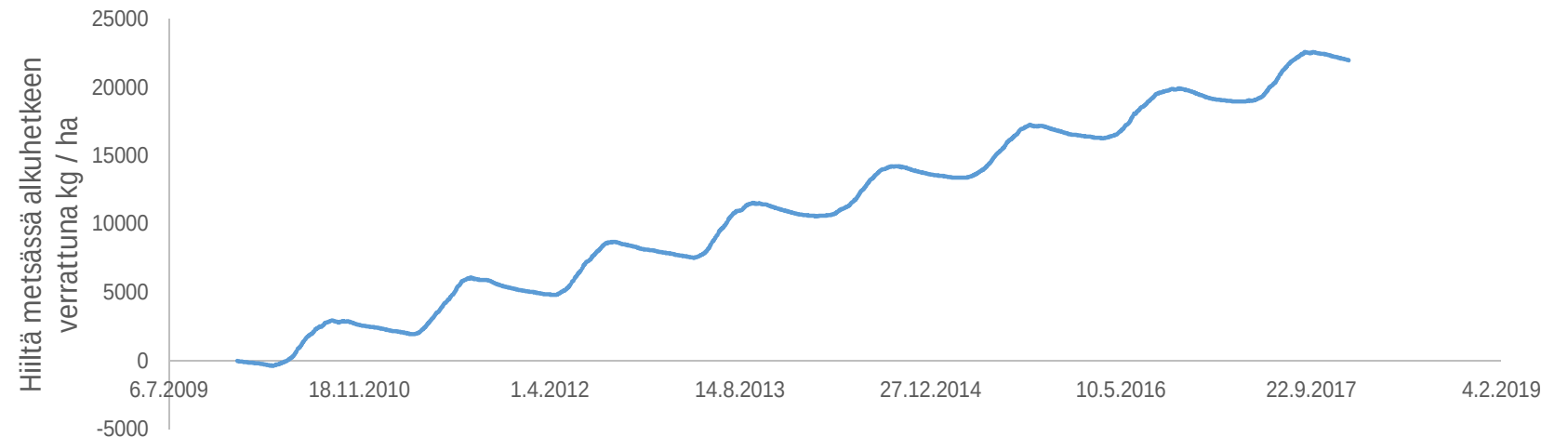
SMEAR II, Hyytiälä,
Juupajoki



Metsikön hiilenvaihto

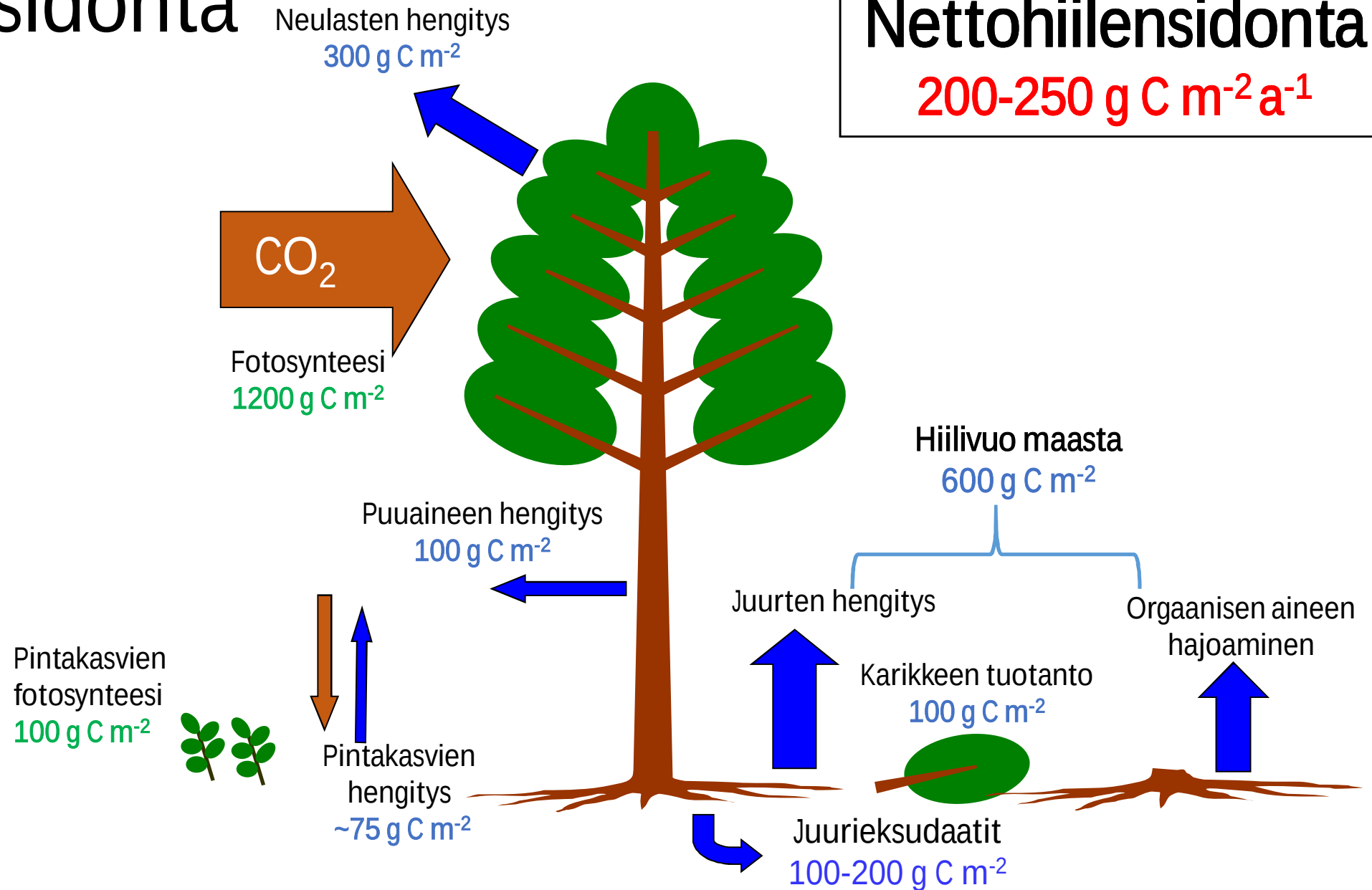


Metsikön hiilensidonta



1) Hiilensidonta

SMEAR II, Hyytiälä,
Juupajoki



Pasi Kolari

1) Hiilensidonta

Kasvihuoneekaasut erilaisissa ekosysteemeissä

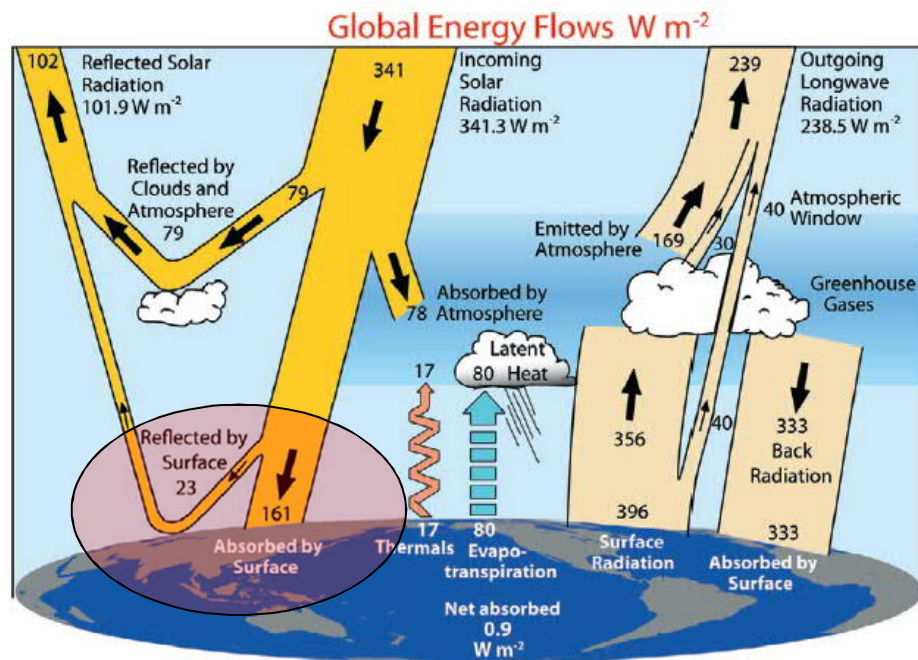
CO₂ ja metaani, keskimääräinen vuotuinen nettovuo, CO₂-ekvivalentteina, g CO₂ m⁻² year⁻¹ :

- Metsä: - 1100
- Järvi: + 400
- Suo: + 150



2) Albedo

”Albedo eli heijastuvuus tai heijastuskyky on jonkin kappaleen kyky heijastaa siihen osuvaa säteilyä” Wikipedia



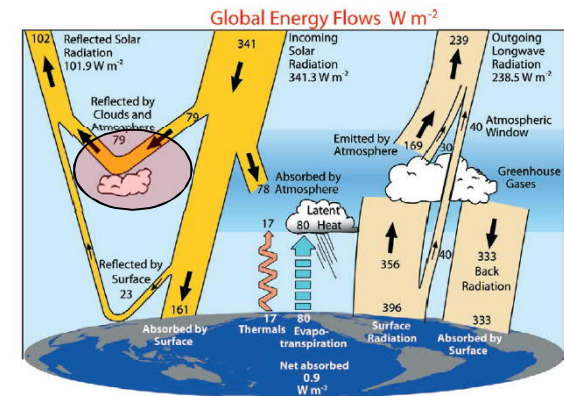
Reflectances of Vegetation and Soil Types

Surface	Reflectivity
Grass	0.17-0.28
Wheat	0.16-0.26
Maize	0.18-0.22
Beets	0.18
Potato	0.19
Rain Forest	0.12
Deciduous forest	0.10-0.20
Coniferous forest	0.05-0.15
SubArctic	0.09-0.20
Savanna	0.16-0.21
Steppe	0.20
Fresh snow	0.75-0.95
Old snow	0.40-0.70
Wet dark soil	0.08
Dry dark soil	0.13
Dry sand	0.35
Boreal forest with snow	0.12-0.30

(Campbell and Norman, 1998, Davies and Idso, 1979, Oke, 1987)



3) Pienhiukkasten synty metsässä

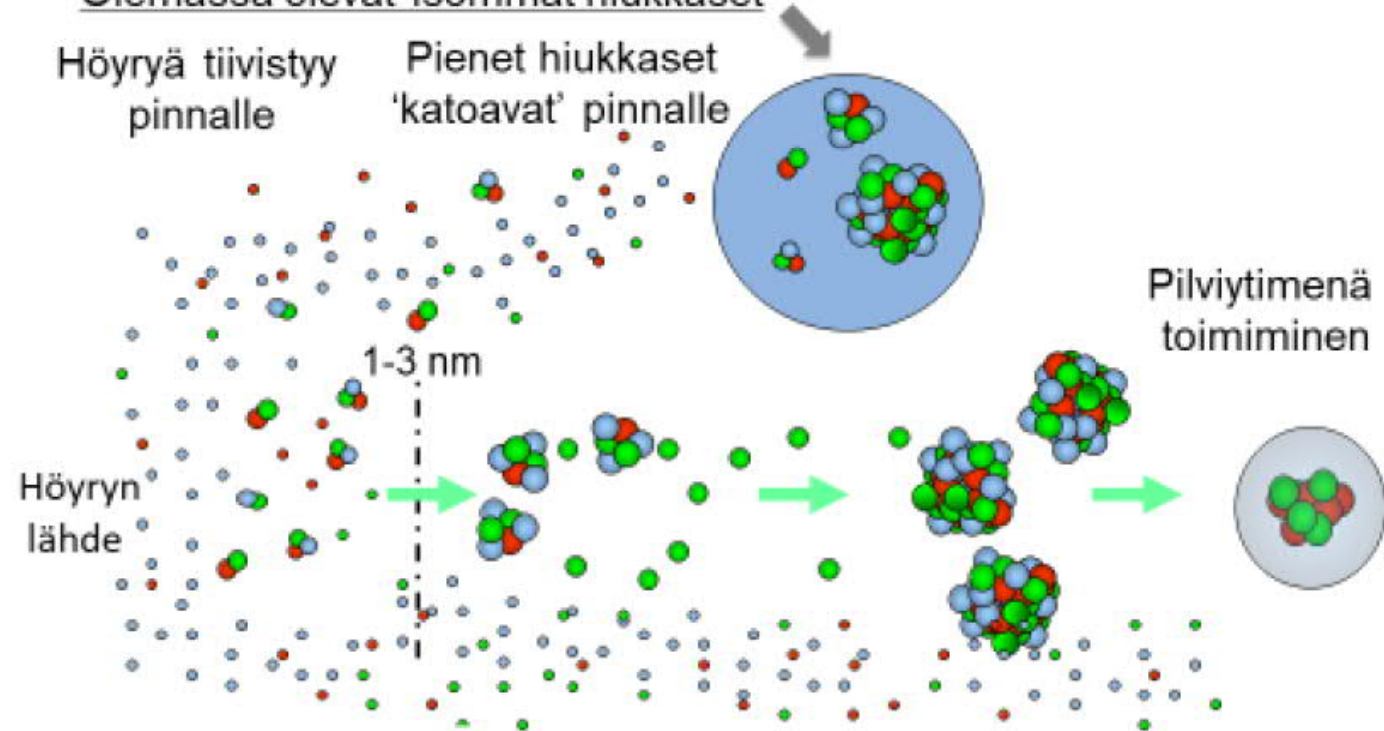


Hiukkasten muodostuminen ja kasvu

Olemassa olevat isommat hiukkaset

Höyryä tiivistyy pinnalle

Pienet hiukkaset 'katoavat' pinnalle



Hiukkasmuodostus

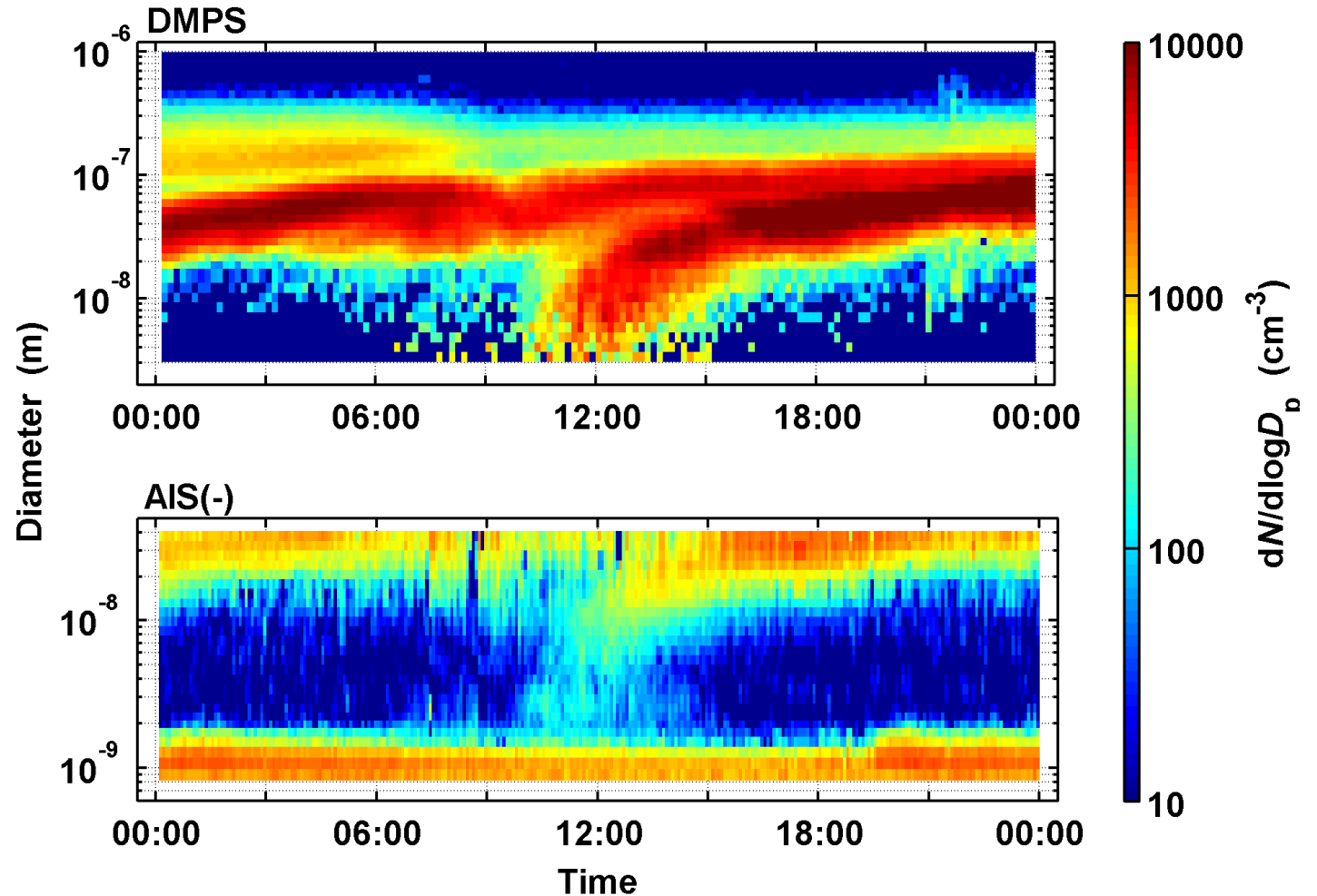
Kasvu kokoihin jossa hiukkasilla merkitystä

3) Pienhiukkasten synty metsässä

Uusien pienhiukkasten muodostuminen.
Globaali ilmiö - havaittu ensimmäisenä boreaalisissa metsissä.

Ensimmäiset havainnot Hyytiälässä (Mäkelä et al. 1997 GRL), minkä jälkeen >1000 tieteellistä julkaisua.

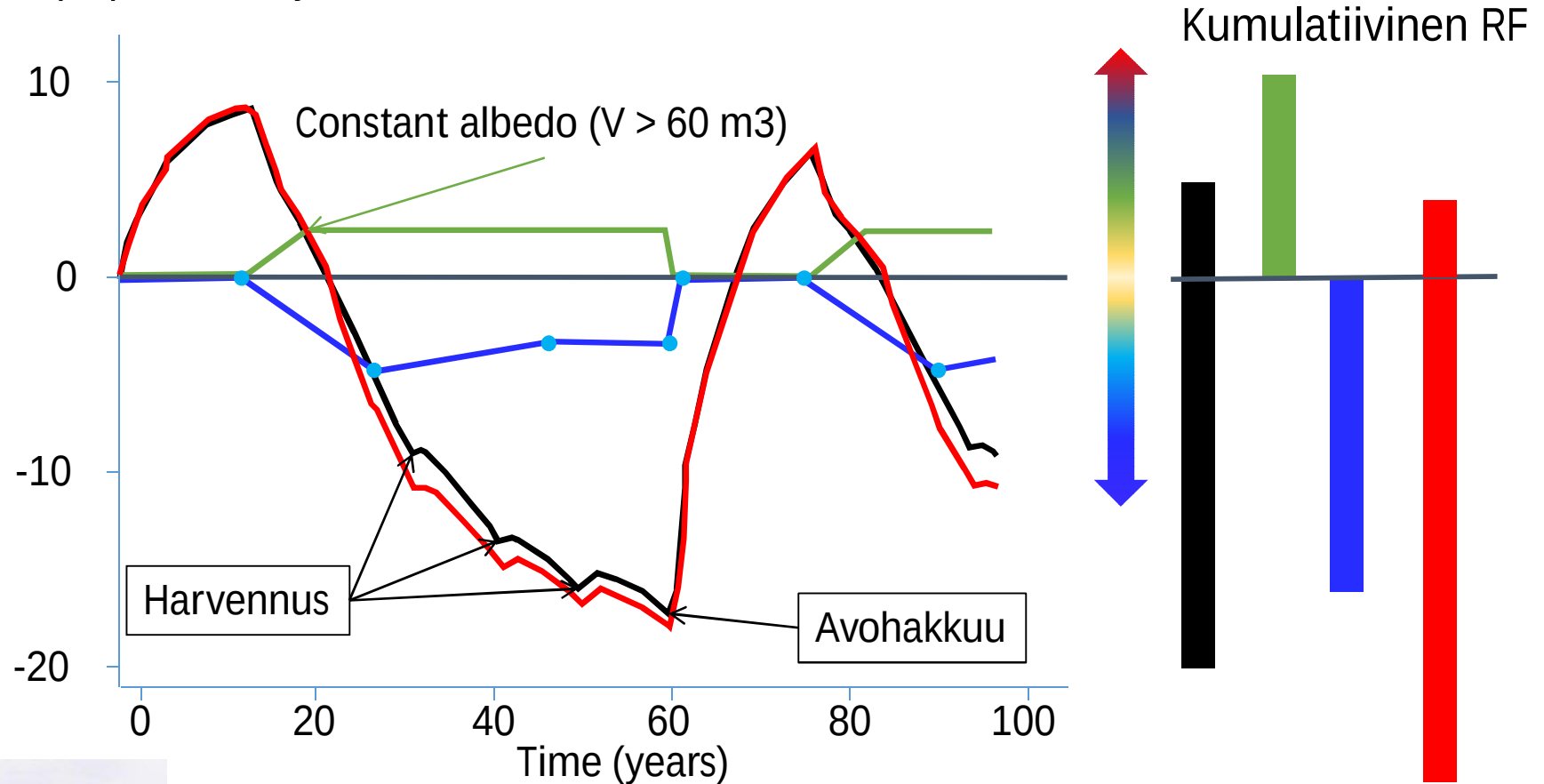
Pienhiukkasten raaka-aineena ovat kasvien haihduttamat hiilivedyt.



Metsien käytön ”kokonaisilmastovaikutus” Yksi metsikkö

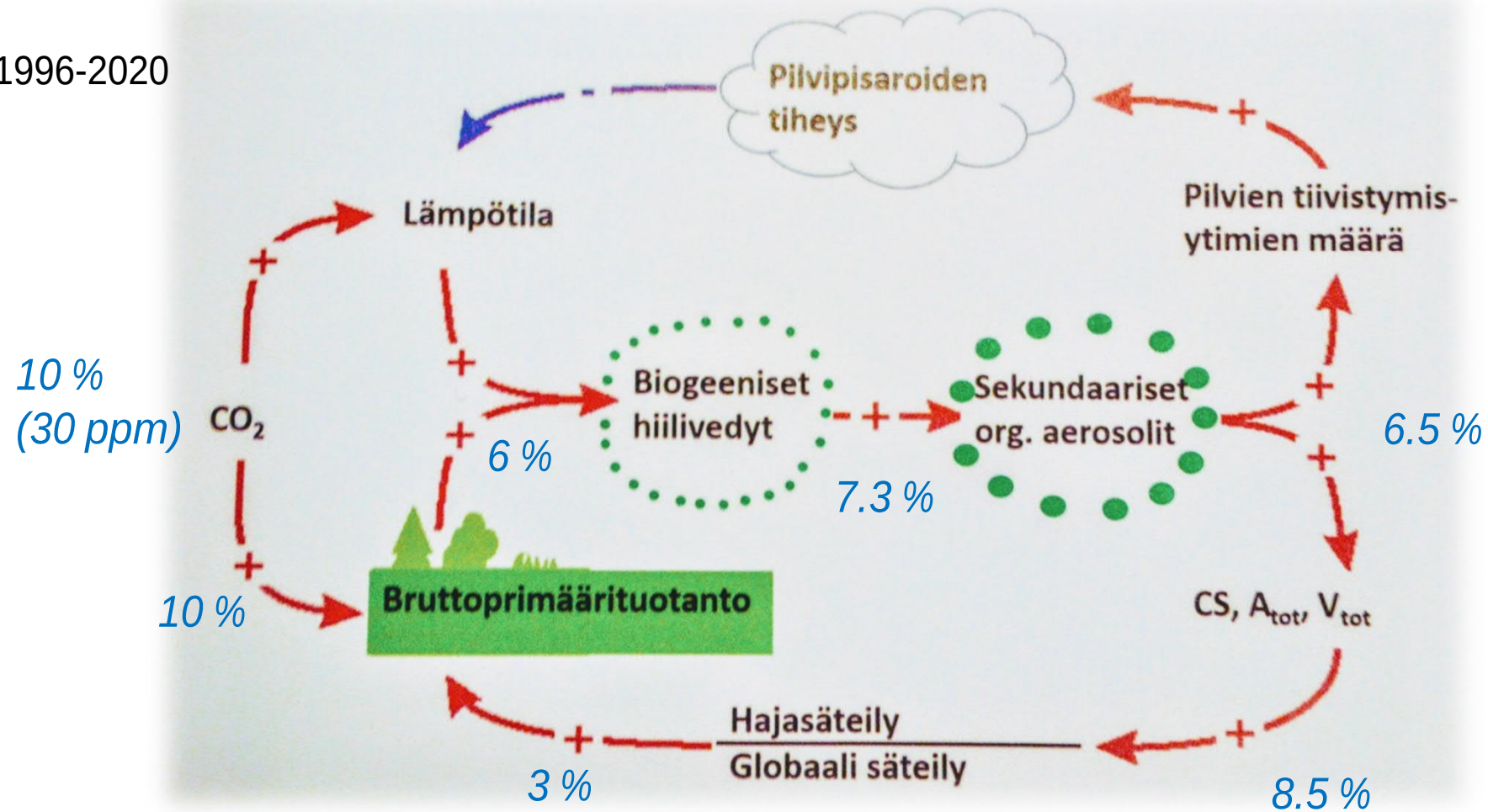
- CO₂
- Albedo
- Aerosols
- SUM effect

Säteilypakotteen (RF) muutos yhdessä metsikössä



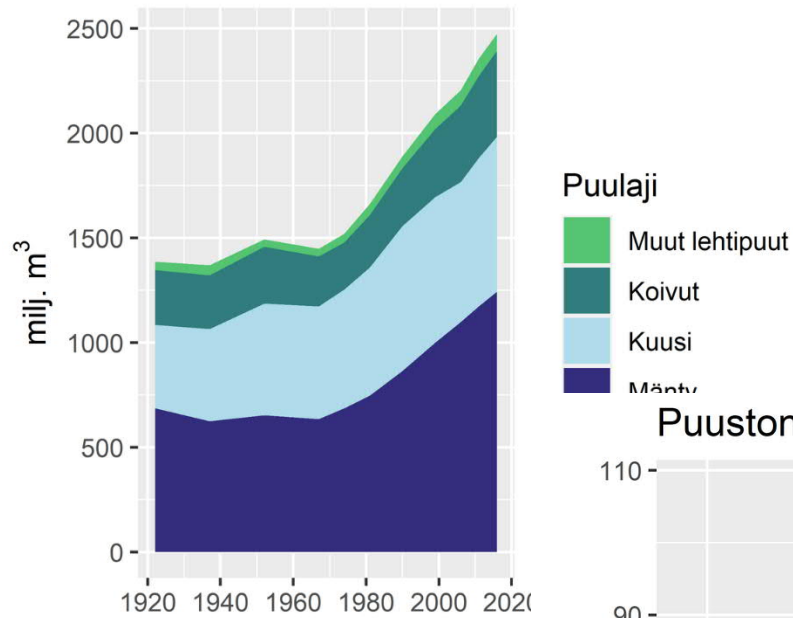
Esimerkki: Metsä – ilmakehä -takaisinkytkentä

SMEAR II: 1996-2020



Suomen puuvarojen kasvu ja hakkuumäärät

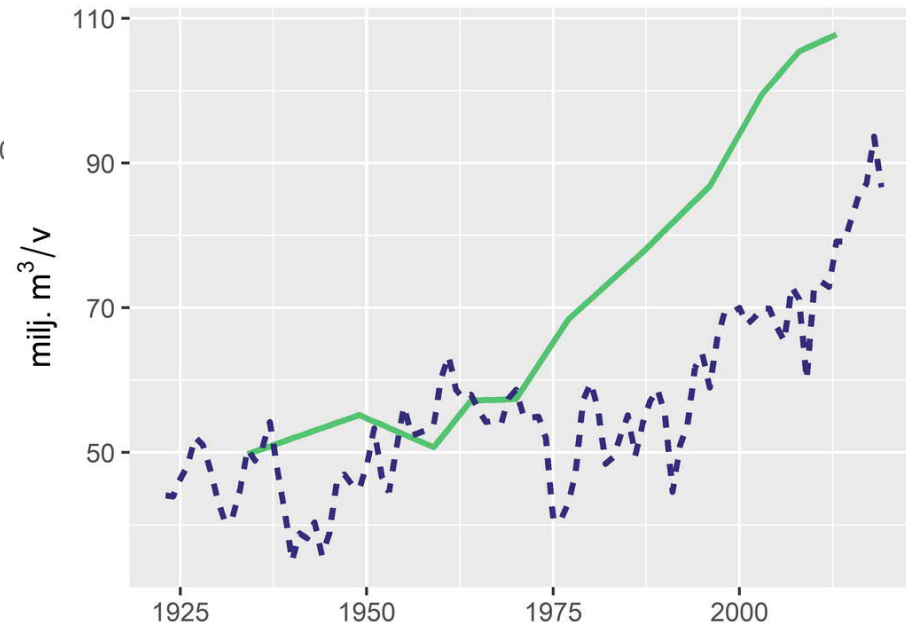
Puuston kokonaistilavuus



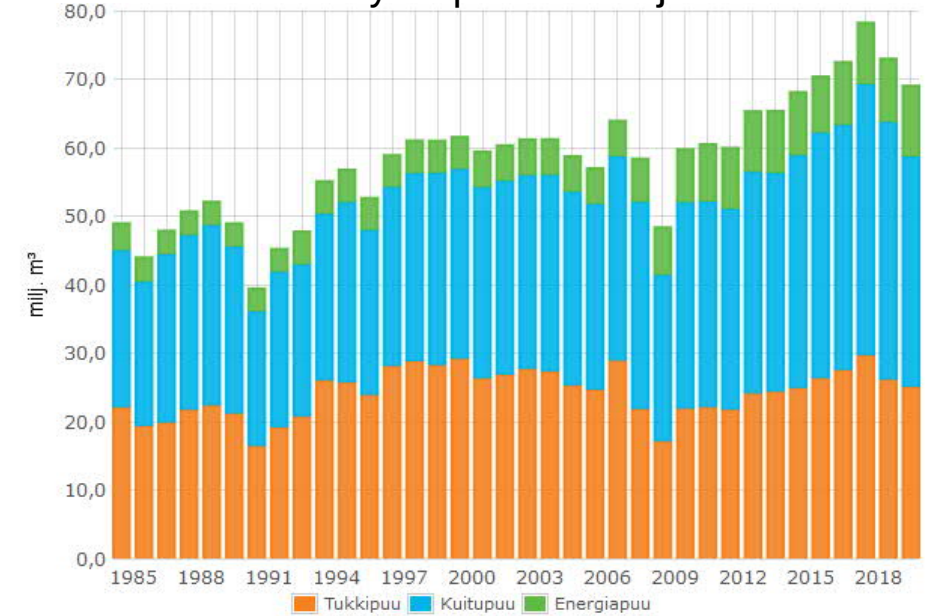
Puulaji

- Muut lehtipuut
- Koivut
- Kuusi
- Mänty

Puuston vuotuisen kasvun ja poistuman kehitys



Hakkuukertymä puutavaralajeittain



Lähde: SVT: Luonnonvarakeskus, Hakkuukertymä ja puuston poistuma.

Poistuma

Hiili ja Suomen metsäsektori

- Suomen metsät sitovat vuosittain 30-60% Suomen antropogeenisista kasvihuonekaasupäästöistä.
- Metsäteollisuustuotteiden osuus Suomen vientituloista on n. 20%. Tärkeimmät metsäteollisuuden vientituotteet ovat sellu ja paperi.
- Näiden tuotteiden elinkaari on 2-10 vuotta.

⇒ Puuaineeseen sitoutunut hiili vapautuu metsäteollisuuden tuotteista muutamassa vuodessa ilmakehään, lukuun ottamatta rakennusmateriaaleja.

Lisää lyhytkestoisia tuotteita? Lisää puuta rakentamiseen? Hiilen kerryttäminen metsiin?

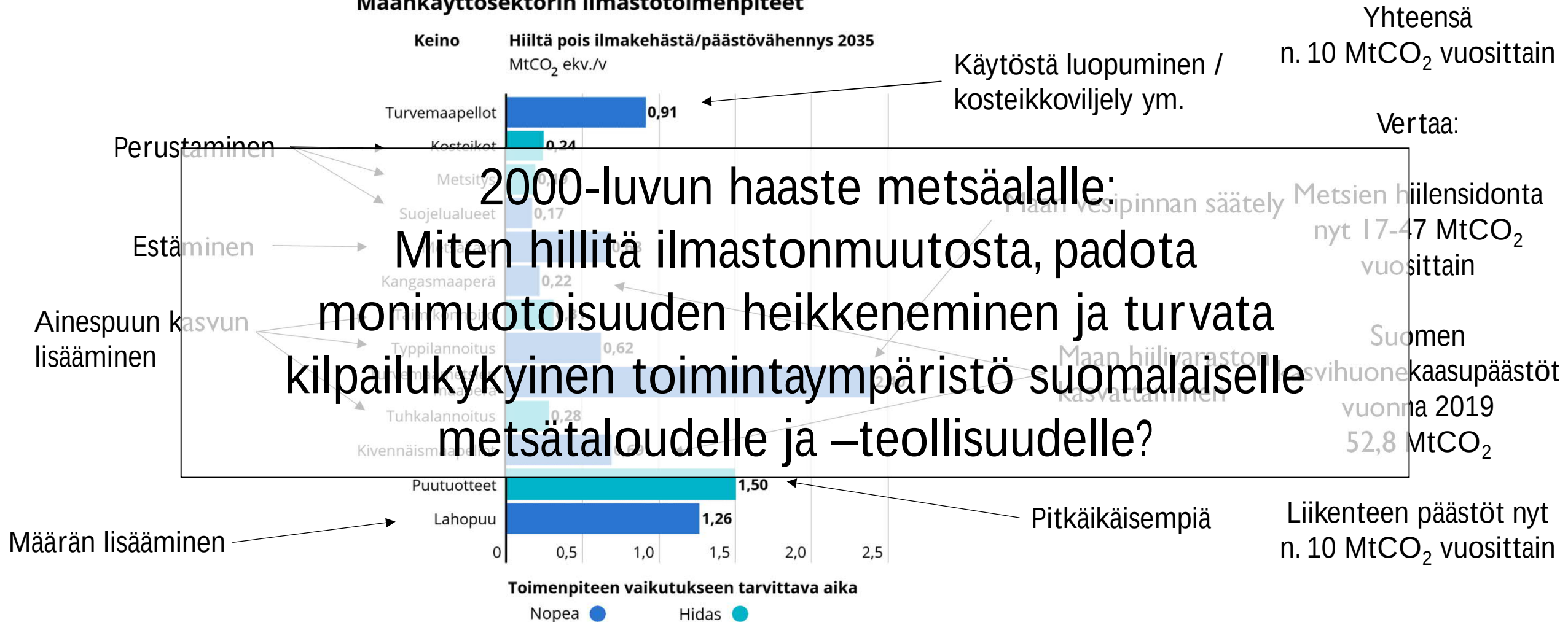
Mitä näistä pitäisi tavoitella?

?



Millä keinoin maankäytön hiilitasetta voi parantaa?

Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet



3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin

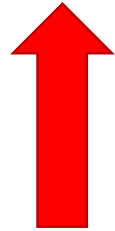


Miten käy metsien kasvun tulevaisuudessa kun olosuhteet muuttuvat?



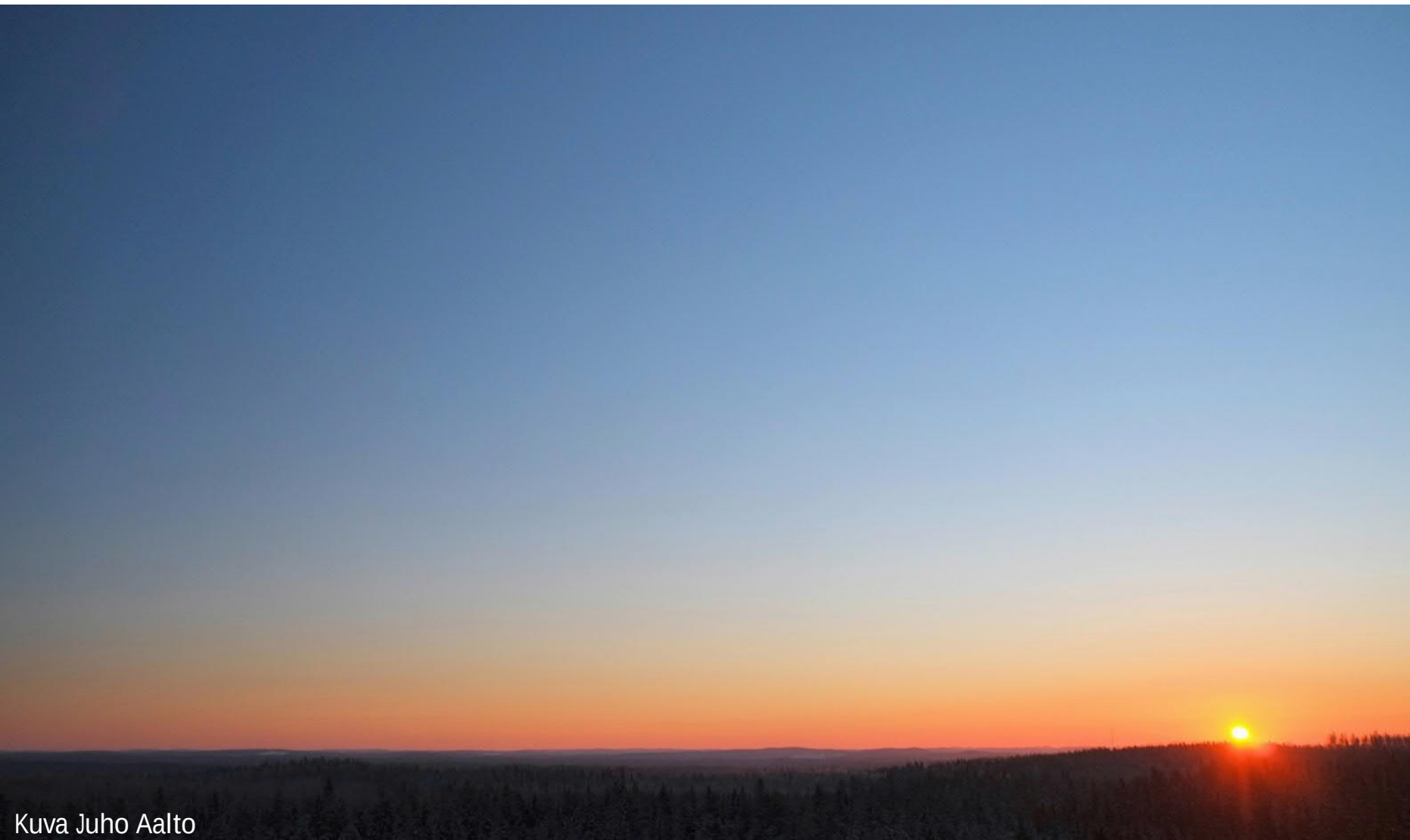
Ympäristötekijät 1/4: Lämpö

Keskilämpötila nousee



Kuvat Juho Aalto

Ympäristötekijät 2/4: Valo



Ei vaikutuksia!!!



Ympäristötekijät 3/4: Sadanta ja tuuli



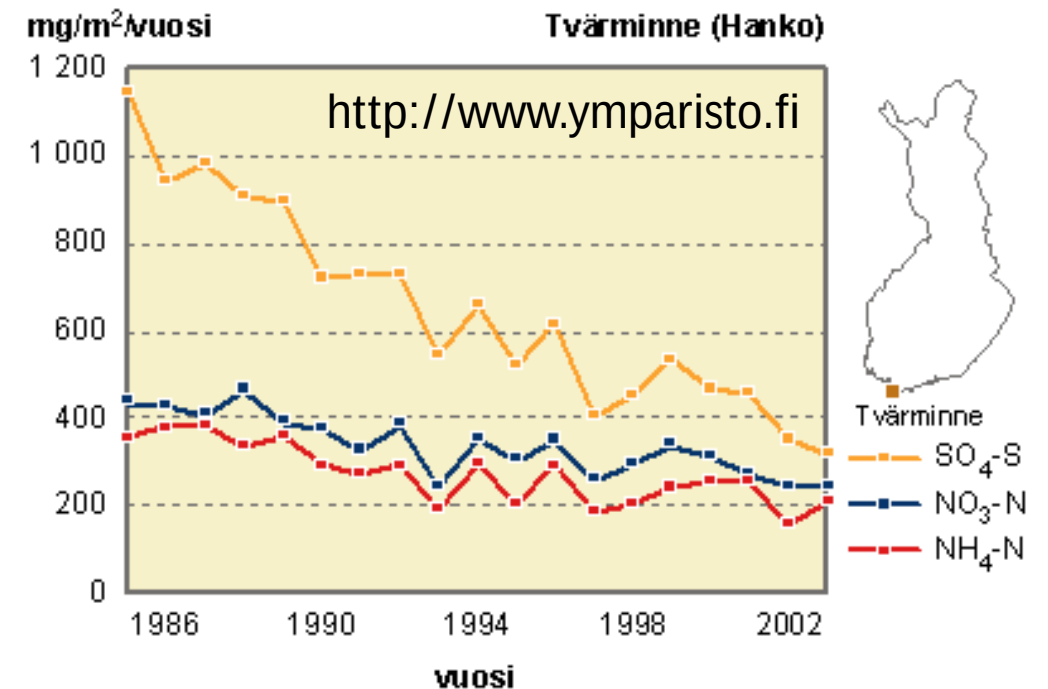
- Tämänhetkisten ennusteiden mukaan sadanta lisääntyy etenkin talvella
- Koko vuoden sademäärän ennustetaan kasvavan → kuivien jaksojen lisääntyminen kesällä kuitenkin mahdollista
- Myrskytuhojen lisääntyminen mahdollista
 - Myrskytuulien lisääntyminen etelä- ja länsirannikolla todennäköistä ja mahdollista myös keskiosissa Suomea (Gregiw et al. 2017)



Ympäristötekijät 4/4: Ravinteet



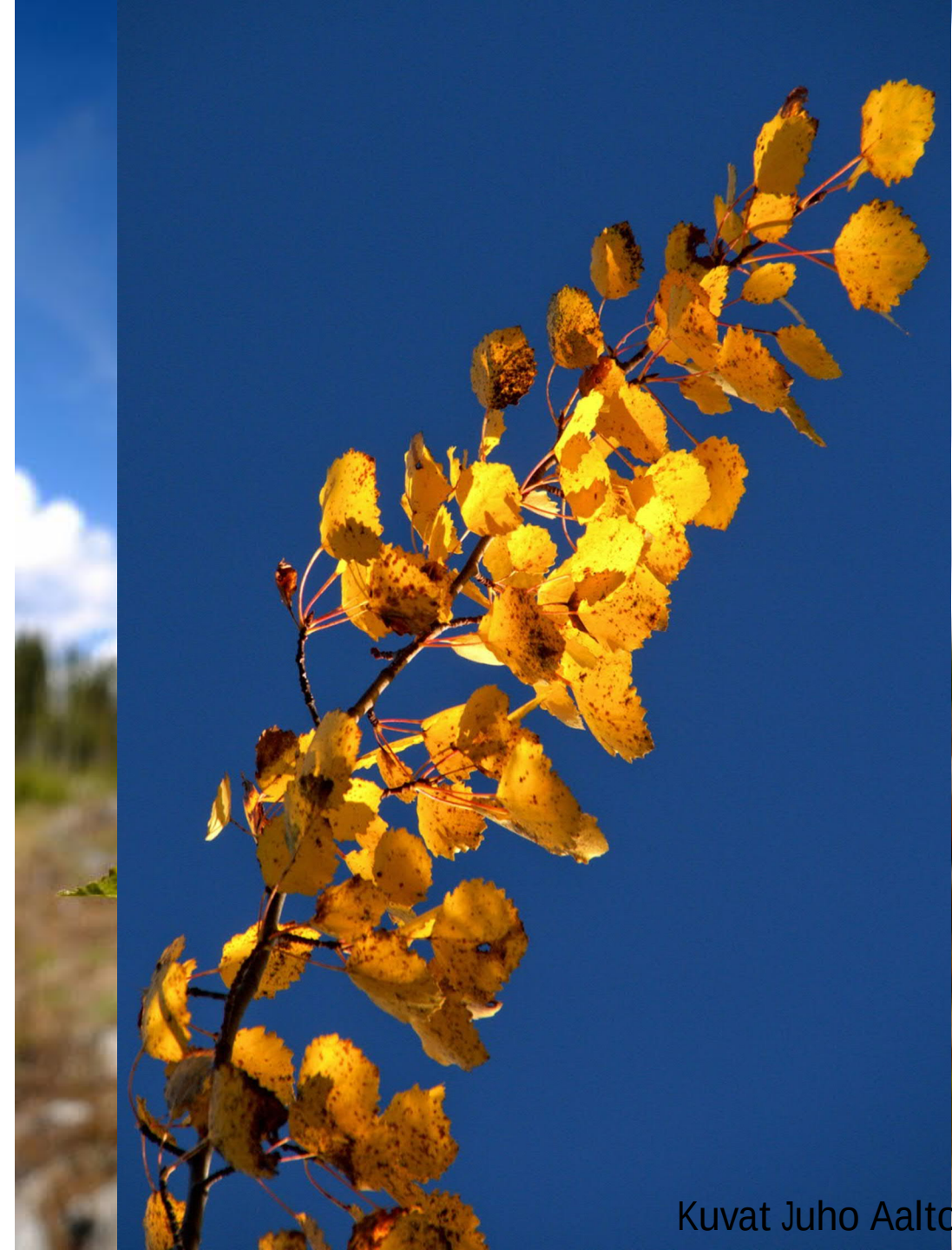
- Typpi on boreaalisissa metsissä pääasiallinen kasvua rajoittava tekijä
- Typen kierron muutoksista ilmastonmuutoksen seurauksena ei ole erityisen paljon tietoa. Teoriassa lämpö nopeuttaa typen mineralisaatiota, mutta käytännössä tilanne voi olla toinen ja joidenkin uusimpien tutkimusten mukaan maan lämpötilan nousu ei lisää puiden käytettävissä olevan typen määrää (Duran et al. 2016, Lim 2017)
- Typen lisääminen maahan voi lisätä pitkäaikaisen (heikosti hajoavan) hiilen määrää maassa.



500 mg/m² = 5 kg / ha
Vrt. yhden vuoden männyn
neulaset n. 20 kg typpeä / ha

Prosessit 1/5: Fenologia

- Fenologiaa eli vuosirytmiiä ohjaavat Suomessa lämpö ja valo
- Terminen kasvukausi pitenee -> miten tämä näkyy puiden kasvujakson pituudessa?
 - Kasvu alkaa karkeasti ottaen silloin, kun lämpökertymää on riittävän paljon -> kasvun alku aikaistuu
 - Toistaiseksi lehden puhkeaminen aikaistunut n. 12 vrk
 - Hallatuhojen lisääntyminen erityisesti lehtipuilla?
 - Kasvun loppuminen syksyllä monimutkaisempi prosessi kuin sen käynnistyminen keväällä

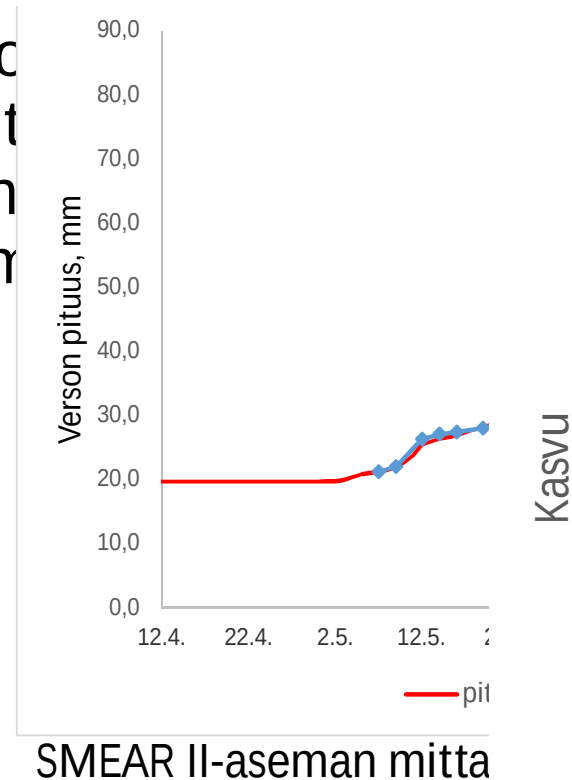


Prosessit 2/5

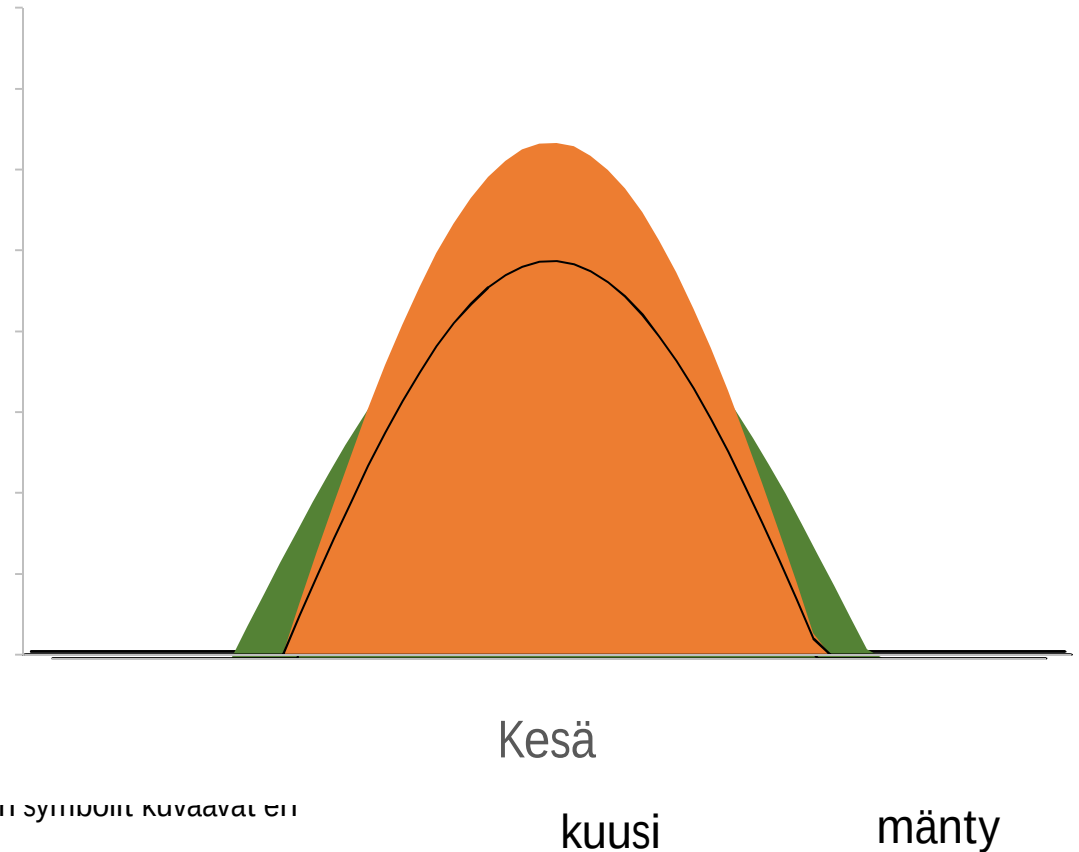
Kasvu

- Lämpö säätelee bio-
prosessien nopeutta
toiminnot, mukaan
nopeutuvat lämpimässä

Kasvun vaihtelu lyhyellä aikaskaalalla (päivissä)



- Kasvun vaihtelu pidemmällä aikaskaalalla



Franke ym. 2015: Puu
vuoden aikana (1983 – 2009). Eri symbolit kuvaavat eri
tutkimuspaikkoja.

Prosessit 1,2 / 5

Fenologia ja kasvu

- Puut sopeutuneet vallitseviin oloihin

-> Eteläisempien alkuperien käyttö? Nykyisten alkuperien sopeutuminen?

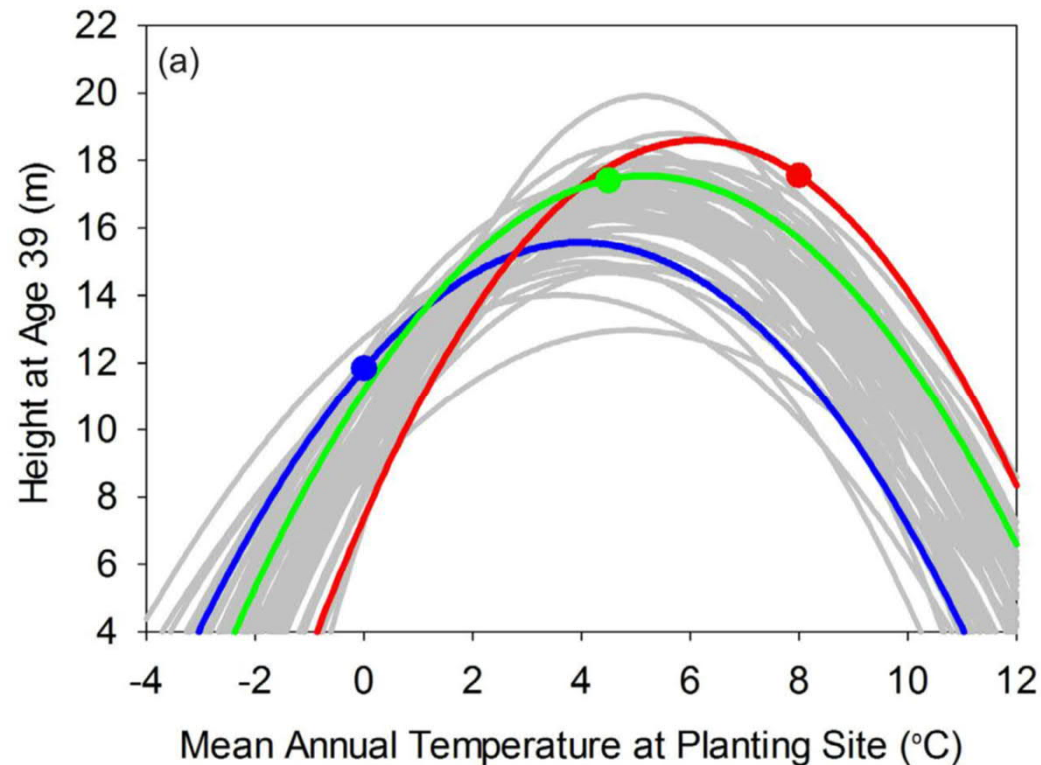


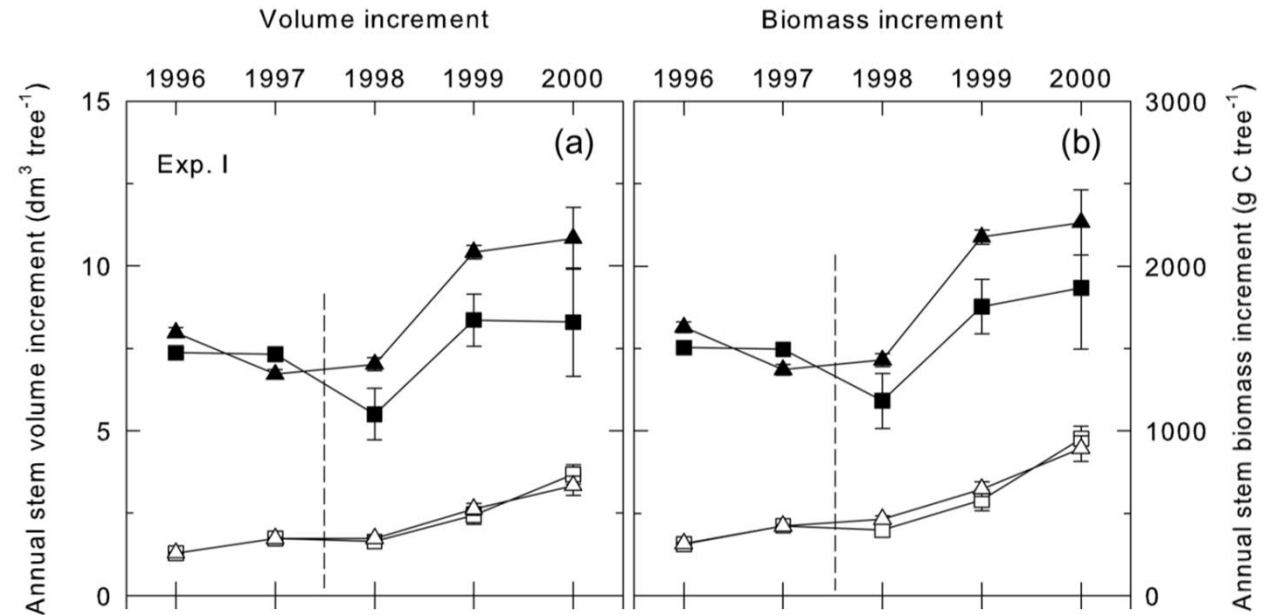
Figure 3. Provenance data summaries for jack pine showing: (a) response curves for 44 seed sources (gray lines), including representative seed sources originating from warm (red), cold (blue), and moderate (green) locations

Pedlar & McKenney 2017

Prosessit 3/5:

Yhteytys / kasvu

- Yhteytyksessä sidottu hiili on kasvun raaka-aine
- Yhteytystuotos lisääntyy, kun ilman hiilidioksidipitoisuus kasvaa
- Keväällä lämpö aikaistaa fotosynteesin käynnistymistä
- Lisääntynyt yhteytystuotos ei kuitenkaan välttämättä suoraan lisää kasvua
 - Ravinteet -> Lannoituksen merkitys?
 - Sopeutuminen



Kuva 3. Kuusikon runkotilavuuden kasvu (a) ja runkobiomassan kasvu (b) vuosina 1996-2000. Mustat symbolit kuvaavat typpilannoitettuja/kasteltuja puita, valkoiset symbolit lannoittamattomia kontrollipuita. Neliöt kuvaavat normaali CO₂-pitoisuudessa kasvaneita puita ja kolmiot korotetussa CO₂-pitoisuudessa kasvaneita puita.

Sigurdsson et al. 2013

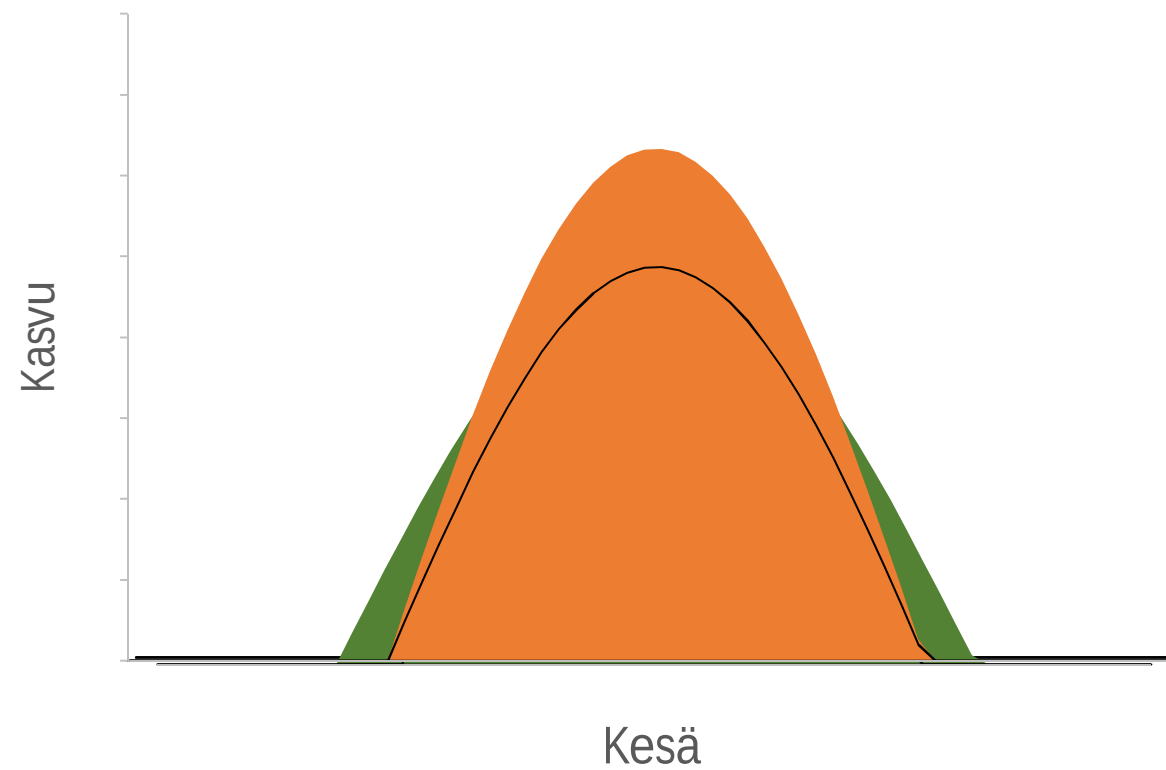
Prosessit 4/5: Taudit

- Etenkin juurikääpä kuusella ja männyllä hyötty lämmöstä
 - Itiöinti ja kasvu
 - Leviäminen hakkuissa, kun maa on sula
 - -> lehtipuiden suosiminen / torjunnan lisääminen?
- Myös hyönteiset pääsevät leviämään pohjoisempaan – nykyisten lajien parempi menestyminen ja uusien lajien tulo Suomeen Baltiasta ja Keski-Euroopasta
- Tarkkaa (taloudellista) vaikutusta vaikea ennustaa, mutta todennäköisesti merkitys huomattava. Huomioidaan harvoin laskelmissa ilmastonmuutoksen aiheuttamasta kasvunlisäyksestä.



Juurikääpä

- Kasvun vaihtelu pidemmällä aikaskaalalla



Prosessit 5/5: Puulajien menestyminen

- Aiemmin ennusteita kuivuuden lisääntymisestä -> haitallista kuuselle.
- Havupuilla, etenkin kuusella riskinä myös em. tautien lisääntyminen.
- Lehtipuut saattavat hyötyä muuttuvista olosuhteista havupuita enemmän.
- Jalojen lehtipuiden (tammi, vaahtera, pyökki) menestyminen yhä pohjoisempaa -> pyökkimetsiä Etelä-Suomeen?



Kuva Sten Forse, Tanska



INAR

Institute for Atmospheric and Earth System Research



UNIVERSITY OF HELSINKI

- Monialainen tutkimusyksikkö
 - biologia, metsätieteet, kemia, ilmakehäfysiikka, matematiikka, insinööritieteet...
-> Fysikaalinen, fysiologinen ja ekologinen ymmärrys
- Moniskaalaista tutkimusta molekyylitasolta globaalille skaalalle
- Ydinaiheet: ilmastonmuutos, ilmanlaatu, biogeokemialliset kierrot, ekosysteemiprosessit
- INAR Finland Network
 - Helsingin yliopisto
 - Ilmatieteenlaitos
 - Itä-Suomen yliopisto
 - Tampereen yliopisto



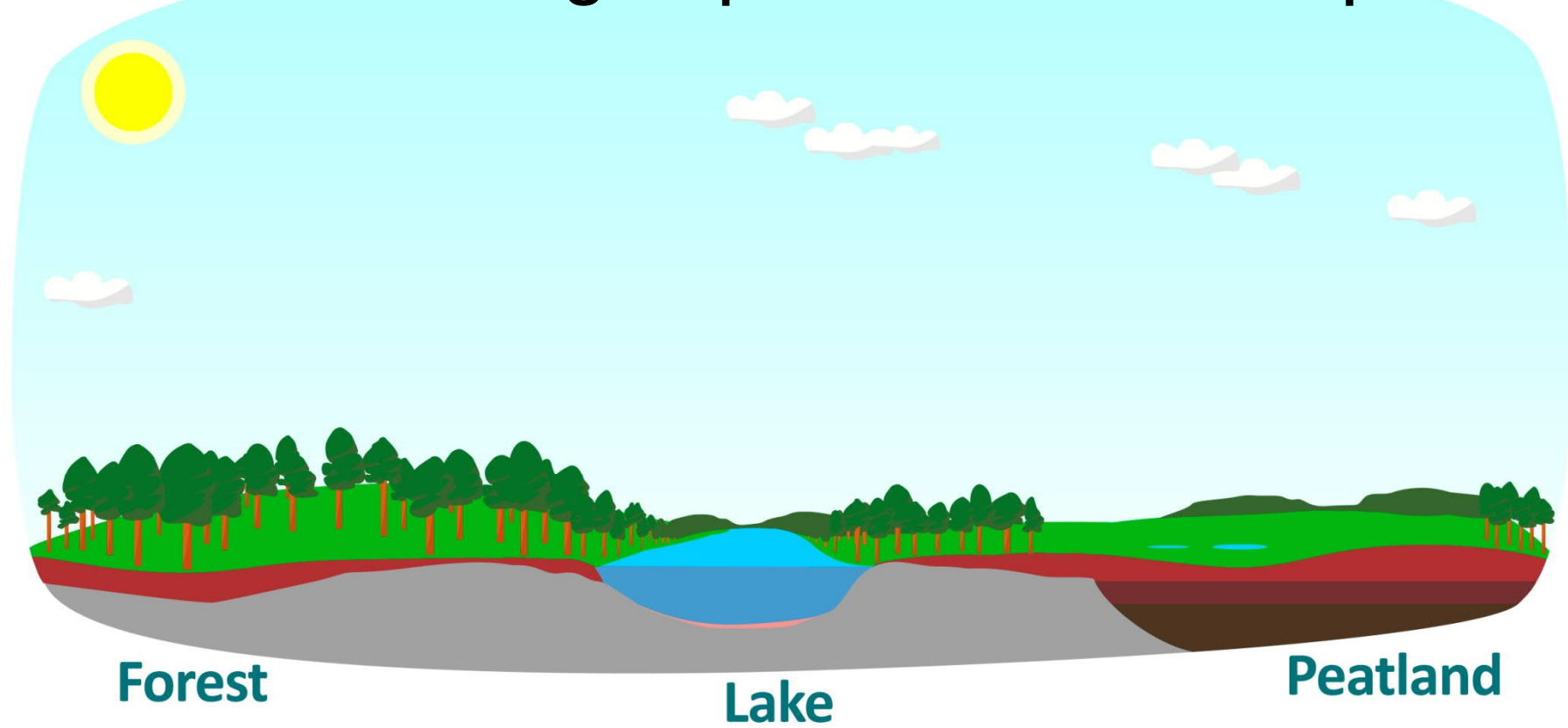
INAR

Institute for Atmospheric and Earth System Research

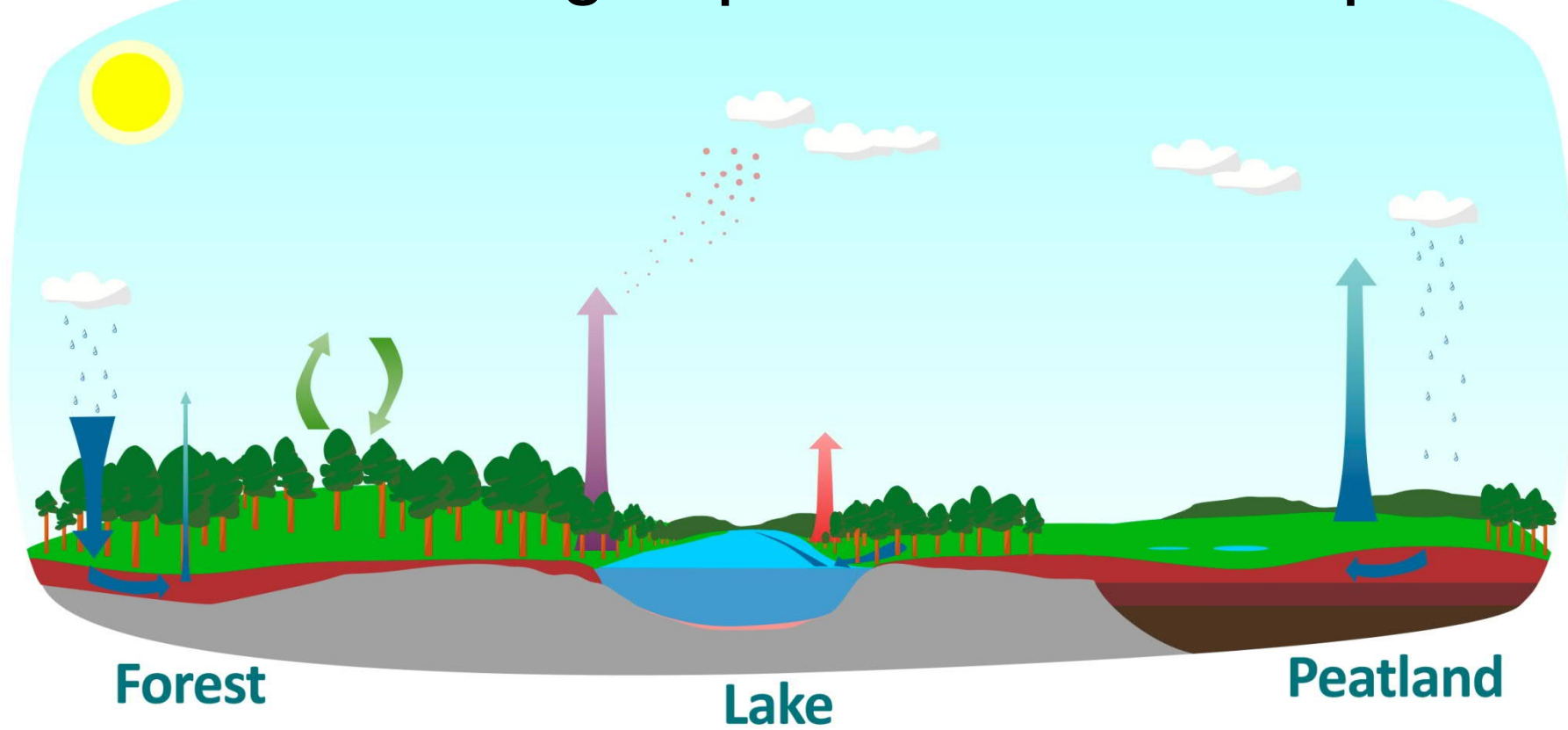


- Tutkimuskysymykset:
 - Miten ilmasto ja ilmakehä vaikuttavat ekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan?
 - Miten ekosysteemit vaikuttavat ilmastoon?
 - Hiilen, typen ja veden kierrot
 - Reaktiivisten yhdisteiden synteesi
 - Albedo
 - Miten biogeokemialliset kierrot yhdistävät ekosysteemit ja ilmakehän?
 - Minkälaisia takaisinkytkentöjä ekosysteemin ja ilmakehän välillä on?
- Kansainväliset maisteri- ja tohtoriohjelmat ilmakehätieteissä
- 260 tutkijaa Helsingin yliopistossa

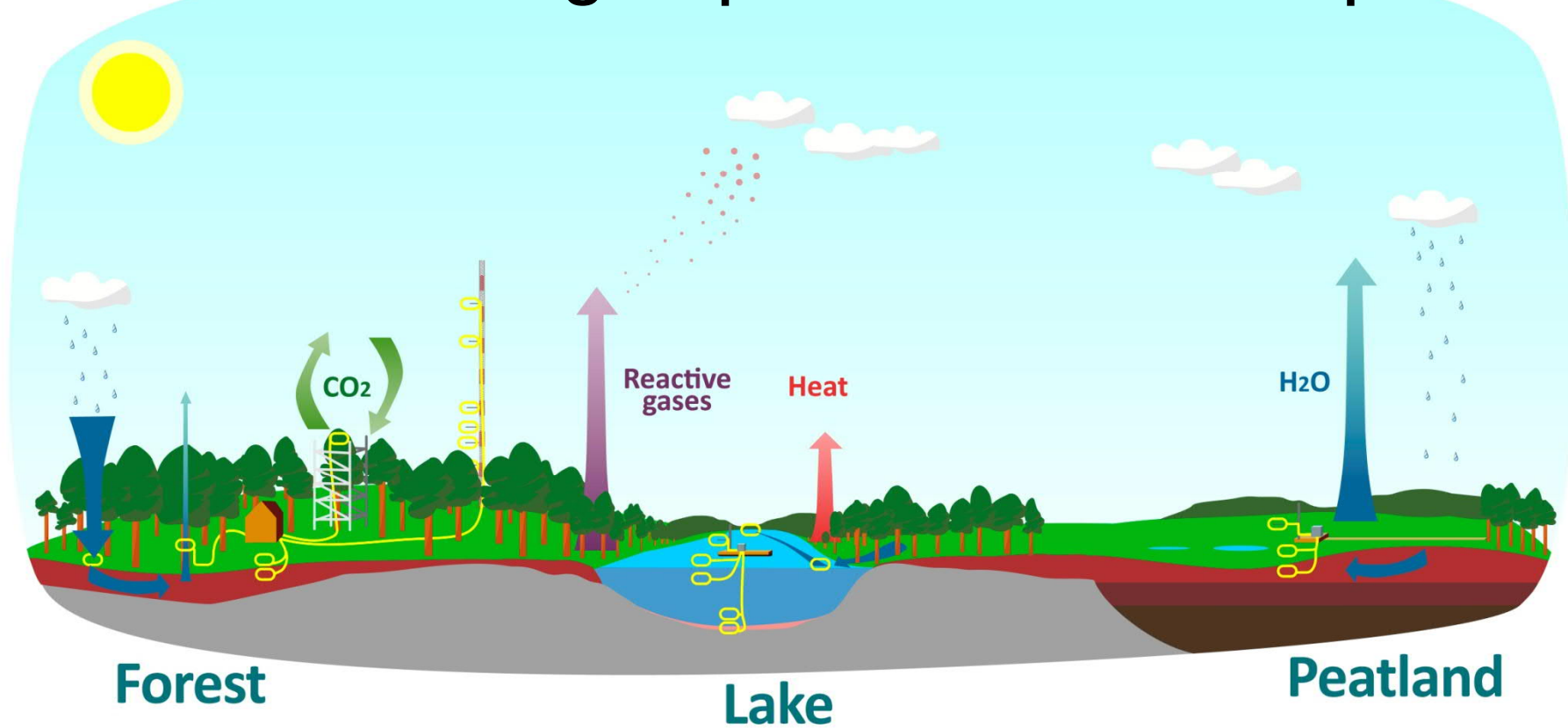
SMEAR flagship station -concept



SMEAR flagship station -concept



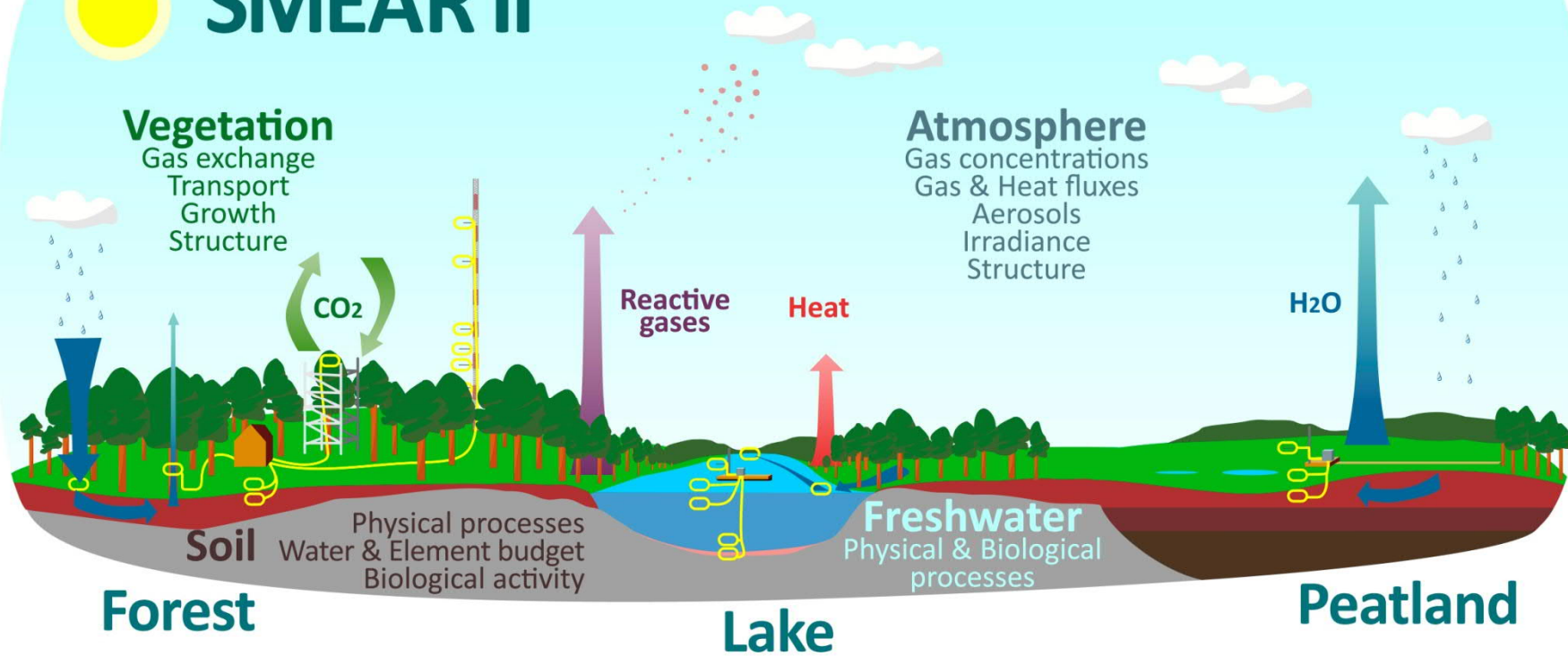
SMEAR flagship station -concept

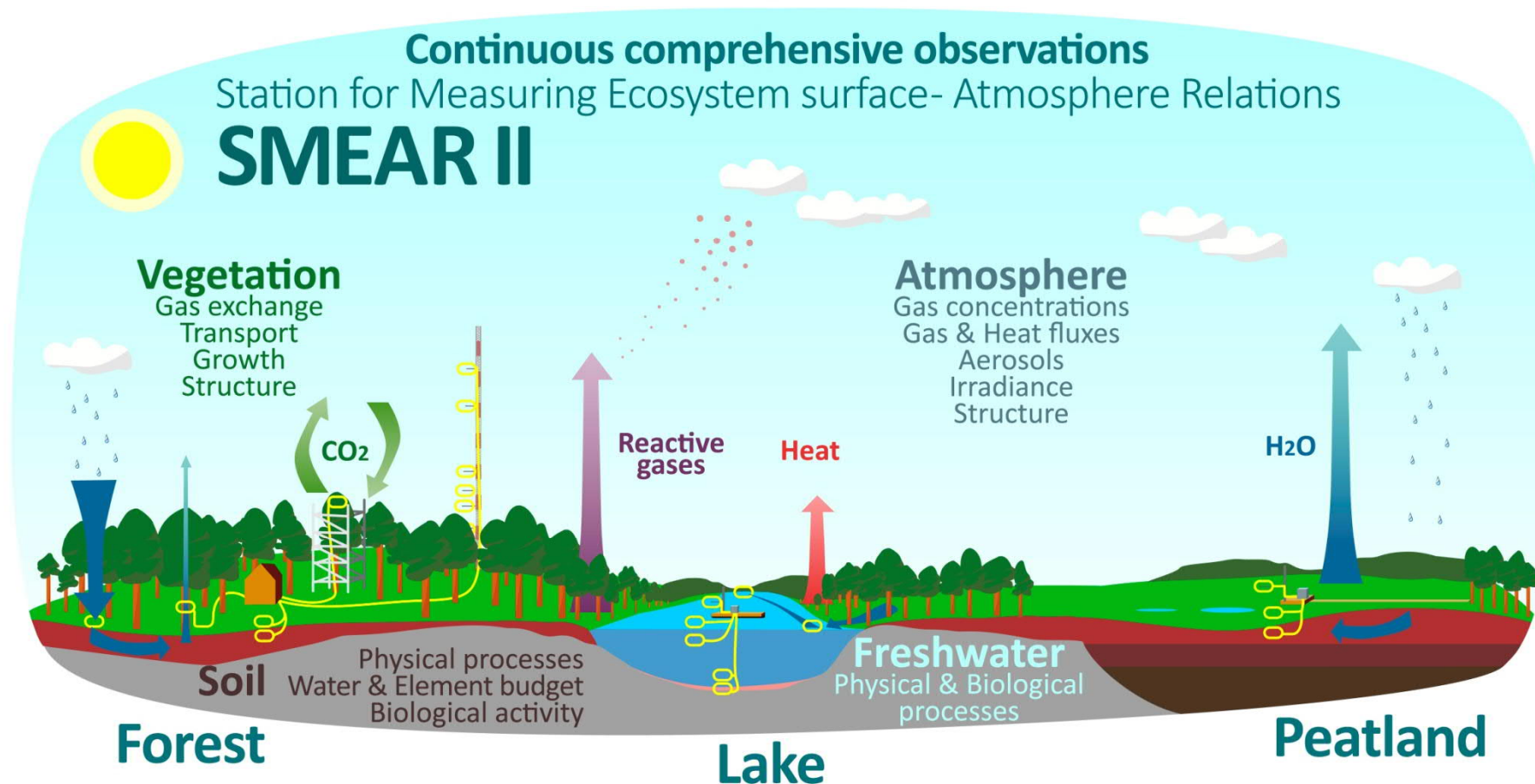


Continuous comprehensive observations
Station for Measuring Ecosystem surface- Atmosphere Relations



SMEAR II





Over **1200** different variables

Flagship site for integration: combines IPCC with climate-relevant processes

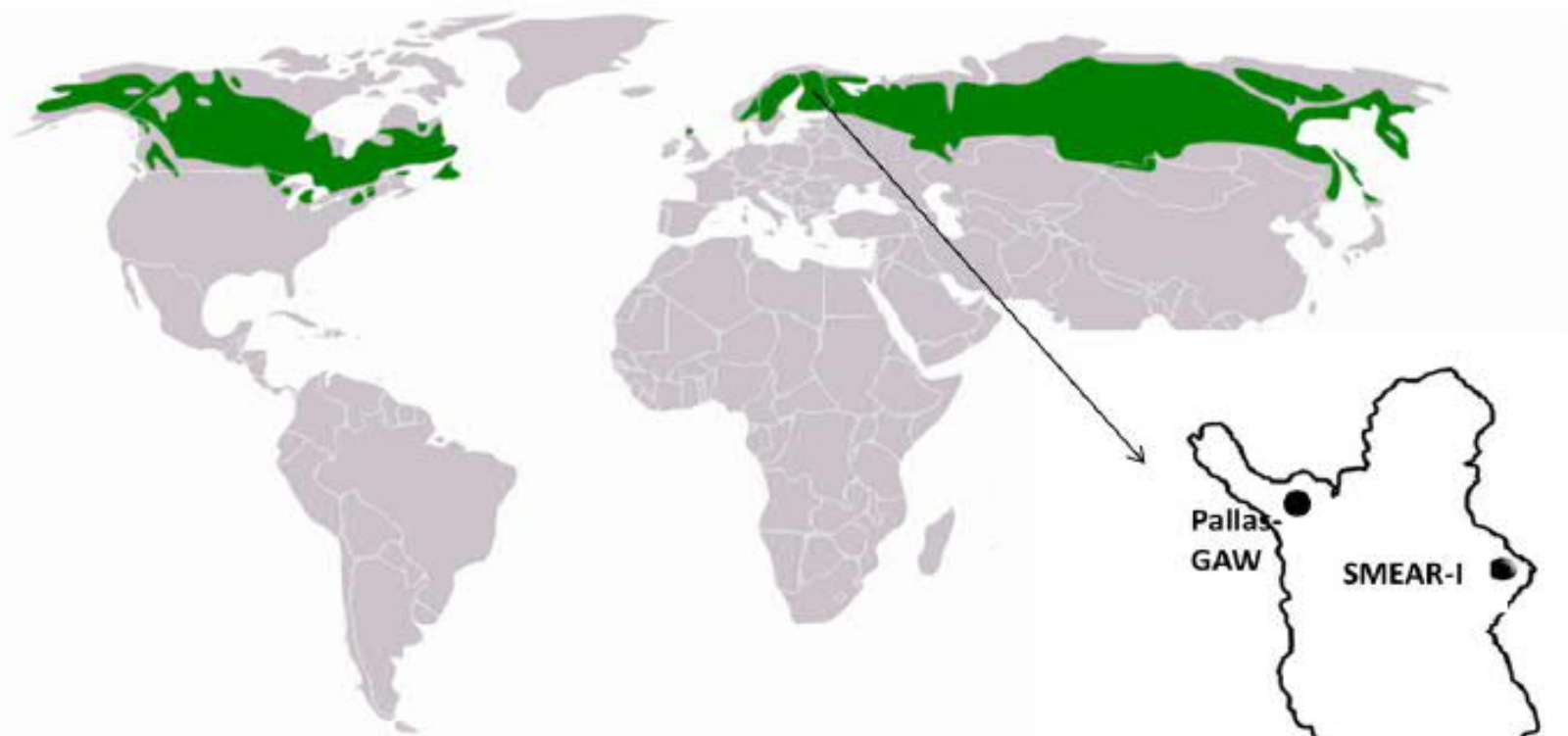
Contributes to :



ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

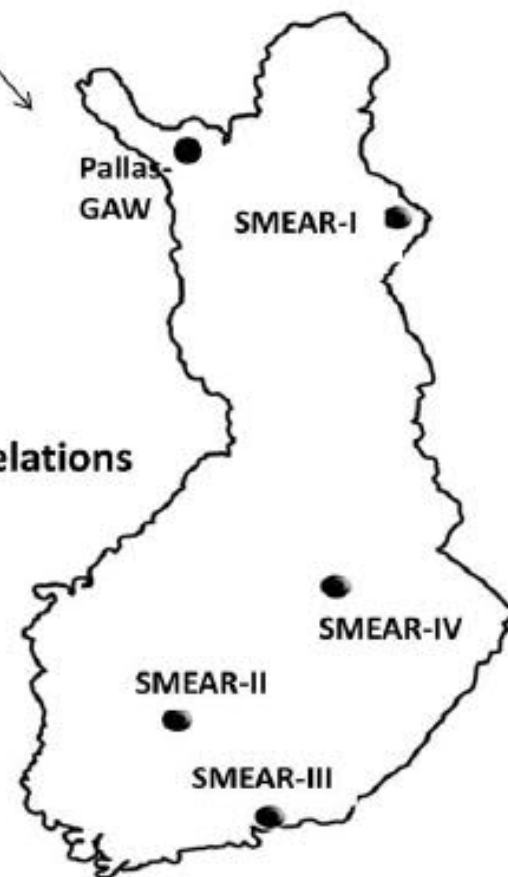




Stations for Measuring Forest Ecosystem–Atmosphere Relations

SMEAR-I Värriö 67°46' N, 29°35' E
 SMEAR-II Hyytiälä 61°51' N, 24°17' E
 SMEAR-III Helsinki 60° 12' N, 24° 57' E
 SMEAR-IV Puijo 62°54' N, 27° 39' E
 SMEAR-AGRI (Haltiala, Viikki)

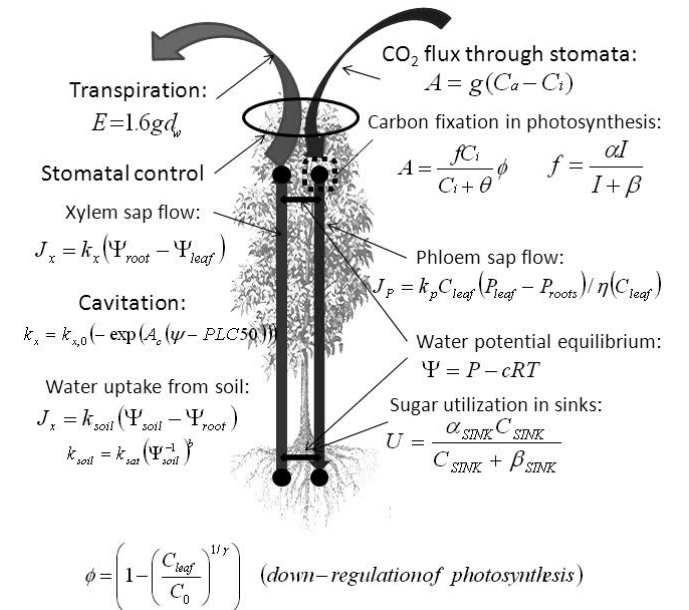
SMEAR-Estonia; Järvelja, hemiboreal forest
 SMEAR-China; Nanjing, urban, subtropical
 Beijing



SMEAR II

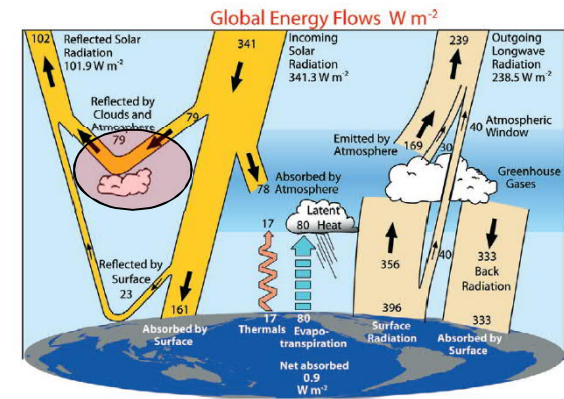
Tutkimusmenetelmät:

- Kattavat, jatkuvat mittaukset (~1200 suuretta)
 - Energia- ja ainevirrat ja niihin liittyvät prosessit
- Mallinnus
 - Prosessien kuvaaminen ja ymmärtäminen
 - Pitkäaikainen dynamiikka
 - Skaalaus karkeammalle tasolle
- Käsittelykokeet
- Laboratoriokokeet
- Kampanjat

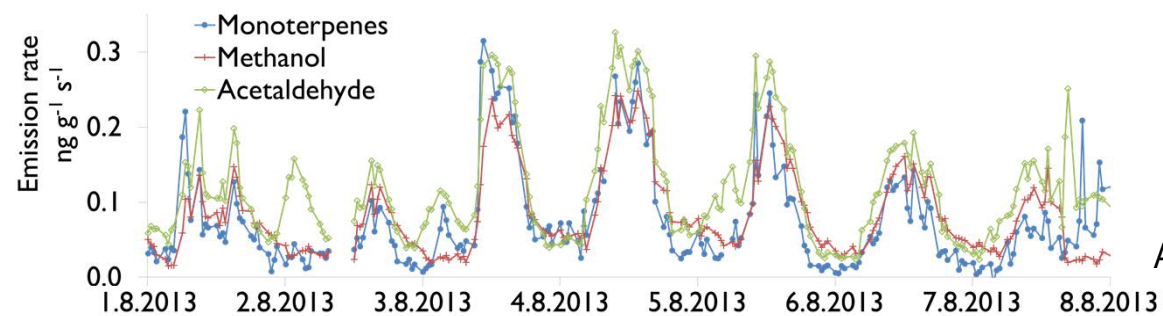


Source: Teemu Hölttä

Esimerkki 1: Takaisinkytkennät, Pienhiukkasten synty metsässä

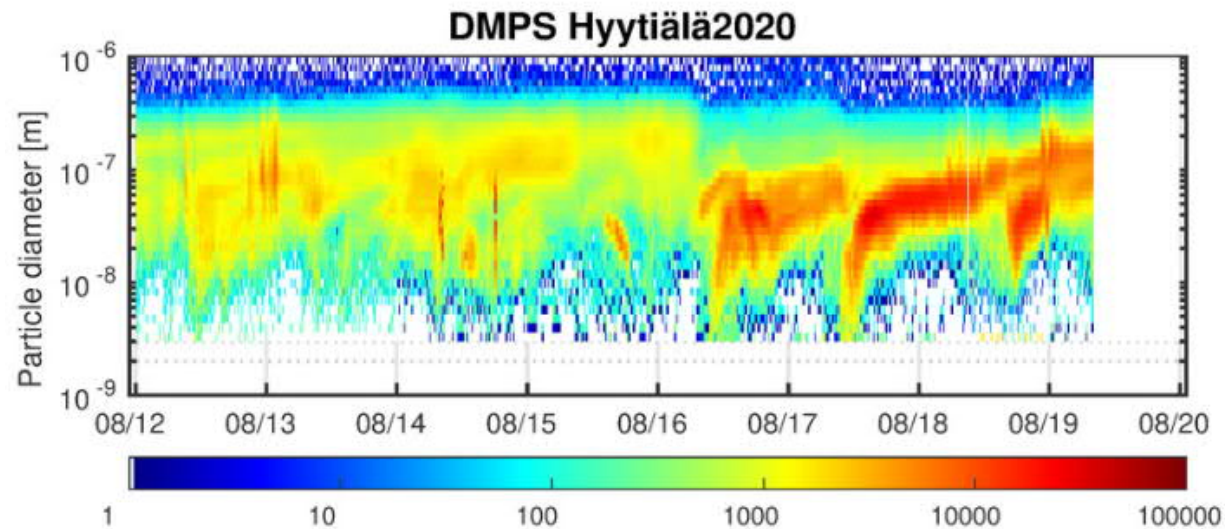


Höyryn
lähde



Aalto et al. 2014

Esimerkki 1: Takaisinkytkennät, Pienhiukkasten synty metsässä



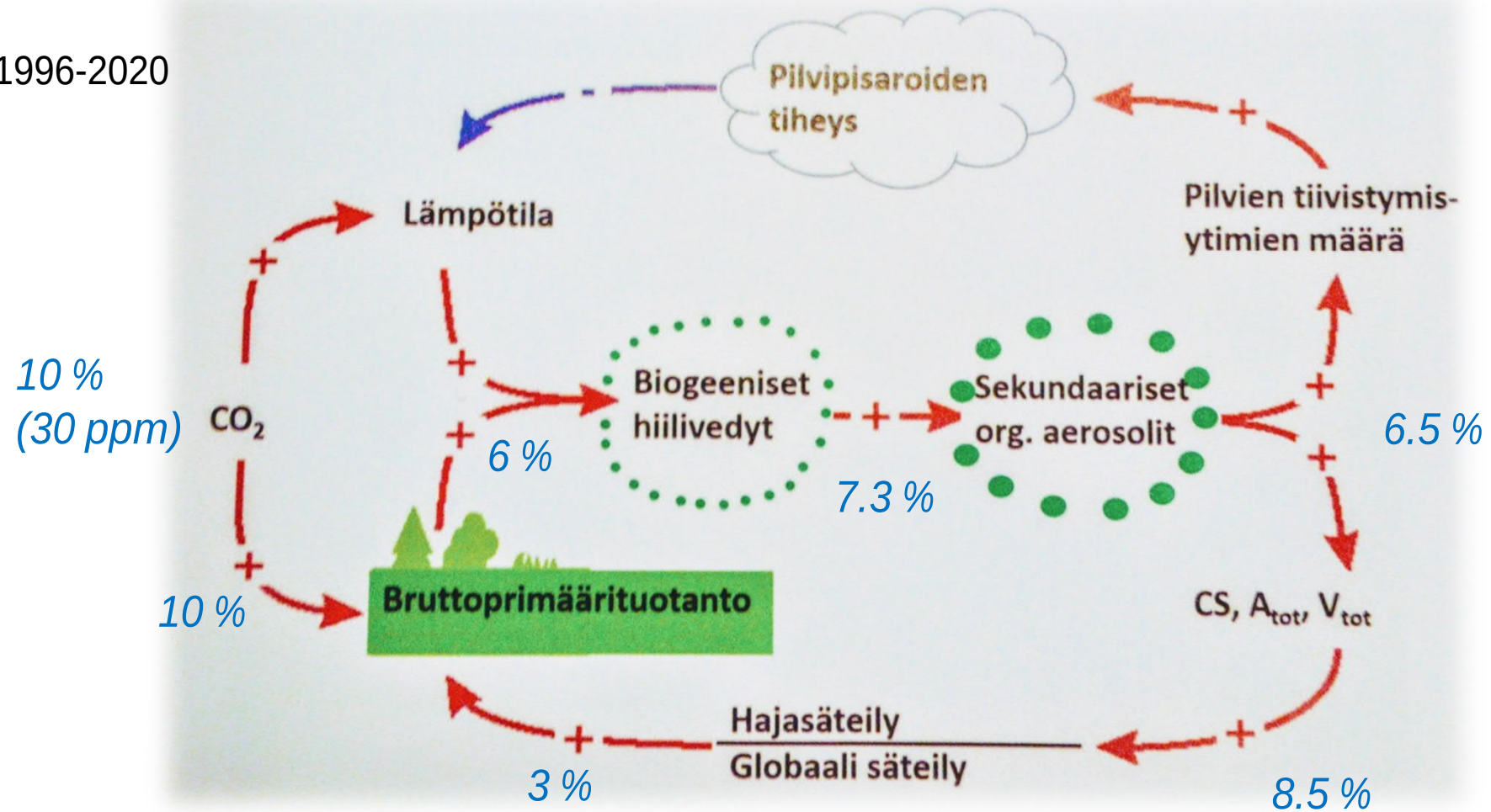
Uusien pienhiukkasten muodostuminen: Globaali ilmiö - havaittu ensimmäisenä Hyytiälässä (Mäkelä et al. 1997 GRL), minkä jälkeen >1000 tieteellistä julkaisua.

Pienhiukkasten raaka-aineena ovat kasvien haihduttamat hiilivedyt.



Esimerkki 1: Takaisinkytkennät

SMEAR II: 1996-2020



Esimerkki 2: SMEAR II – metsikön hiilitase

1. Suorat mittaukset hiilenvaihdosta

2. Prosessipohjainen lähestymistapa:

metsikön hiilitaseen muodostaminen aliprosesseista, jotka riipuvat ympäristöstä ja metsän tilasta

- Yhteytys
- Kasvien hengitys
- Maan hengitys
- Kasvu
- Maan hiilivaraston muutokset

3. Biomassan kertymisen mittaaminen

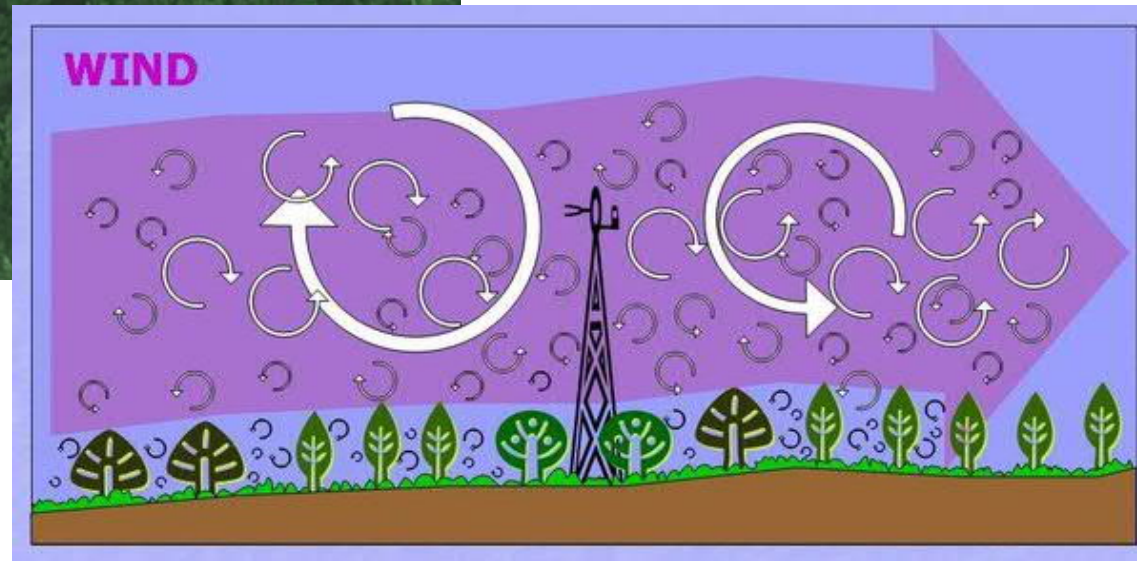
-> Hiilitasetta määrittelevien prosessien ymmärtäminen

-> Hiilitaseen kvantifiointi



Kuva Juho Aalto

1. Suorat mittaukset hiilenvaihdosta: eddy covariance - nettohiilenvaihto



125 m →

101 m →

67.2 m →

50.4 m →

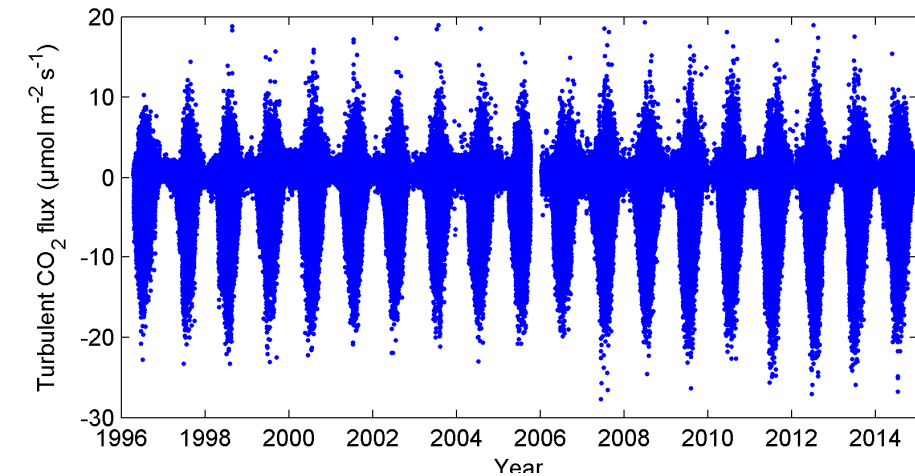
33.6 m →

16.8 m →

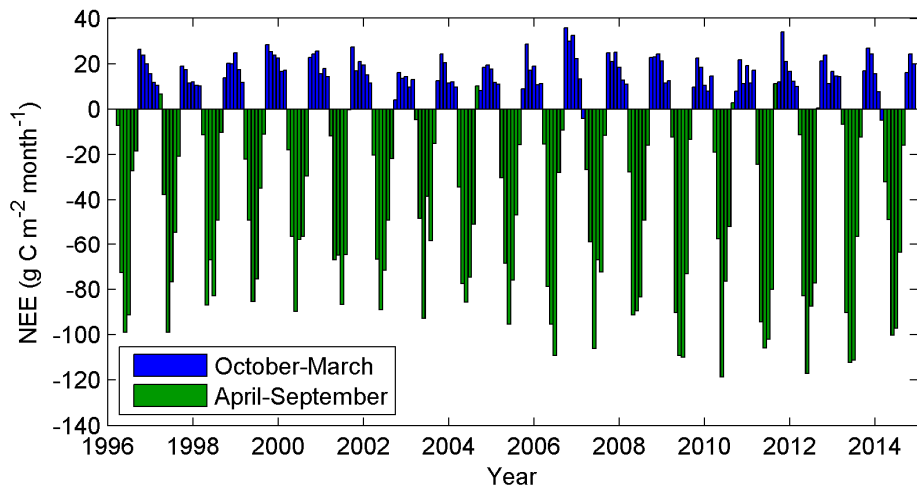
8.4 m →



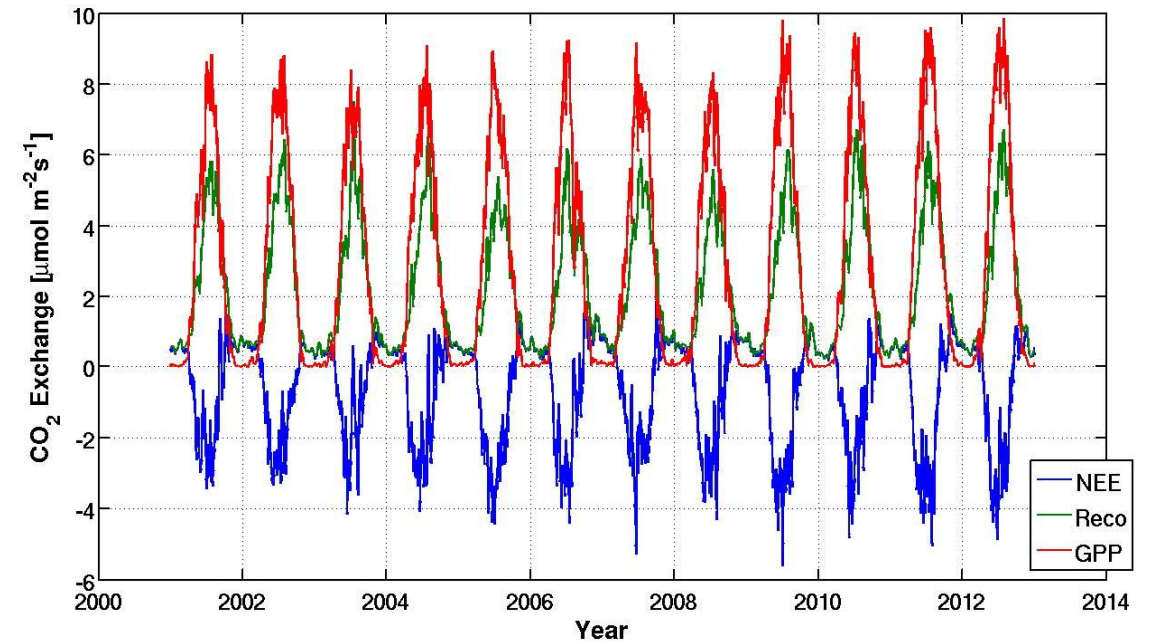
1. Suorat mittaukset hiilenvaihdosta: eddy covariance - nettohiilenvaihto



1/2 h vuo



Kuukausittainen
nettohiilenvaihto



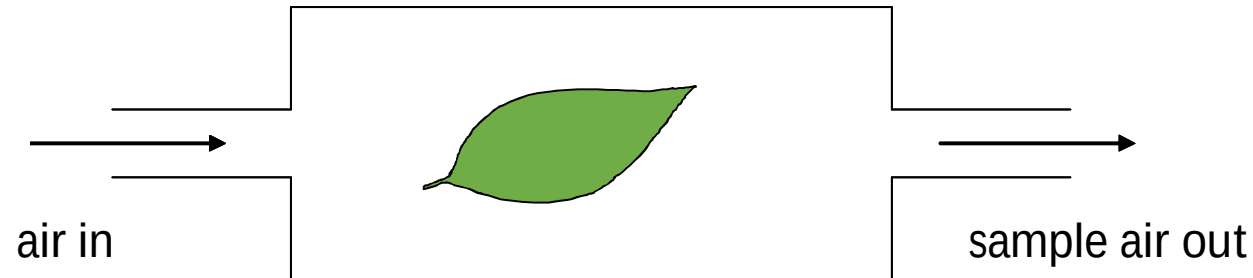
NEE = net ecosystem exchange = nettohiilenvaihto
RECO = ecosystem respiration = ekosysteemihengitys
GPP = gross primary production = bruttoprimäärituotos

Mammarella et al 2014

2. Prosessipohjainen lähestymistapa:

CO₂-vaihdon pienemmän mittakaavan mittaukset kyveteillä

- CO₂:n sitominen fotosynteesissä ja vapautuminen hengityksessä
- > yhteytys- ja hengitysnopeudet määräävät CO₂ –pitoisuuden kyvetissä



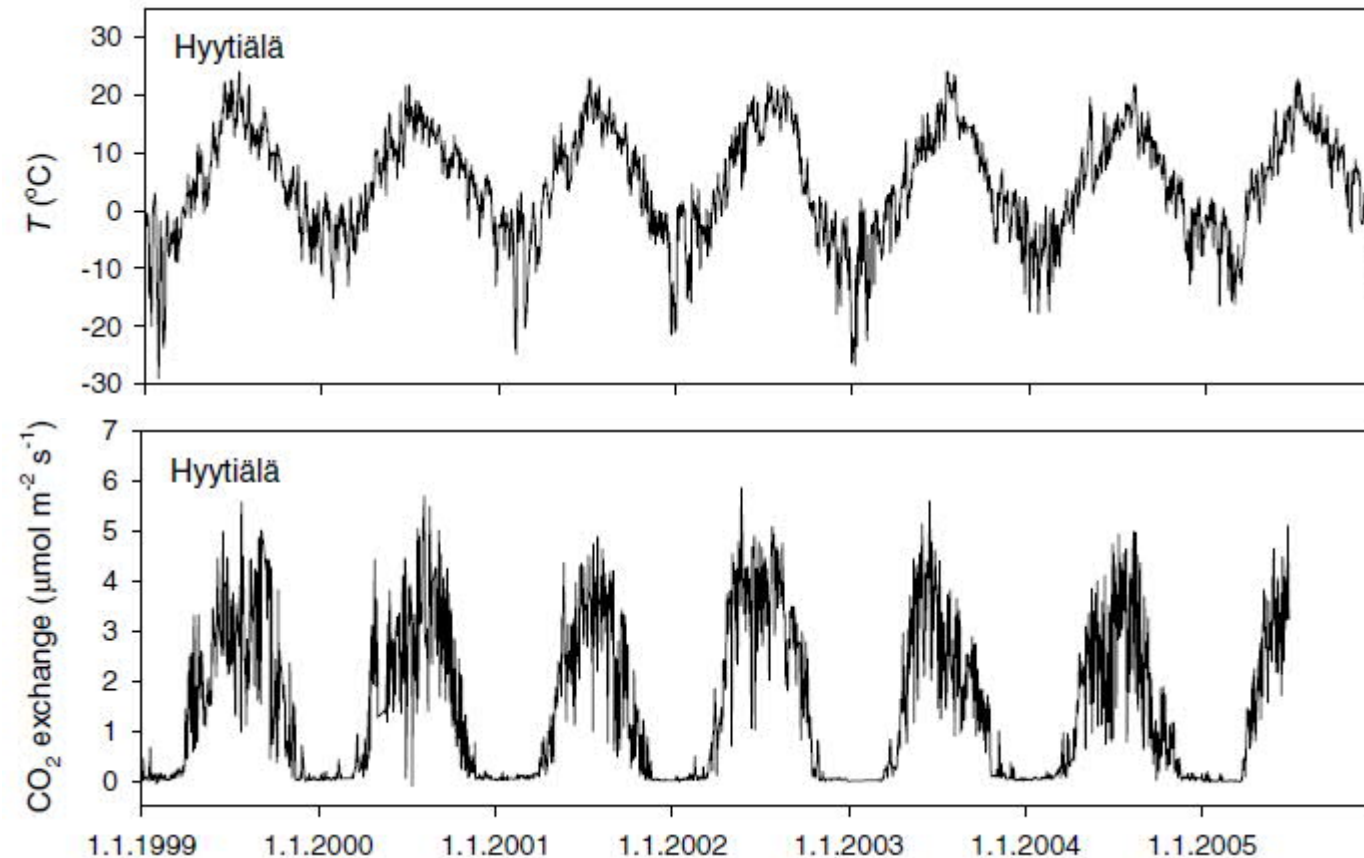
Esimerkki 2: Smear II –metsikön hiilitase

2. Prosessipohjainen lähestymistapa: CO₂-vaihdon pienemmän mittakaavan mittaukset kyveteillä



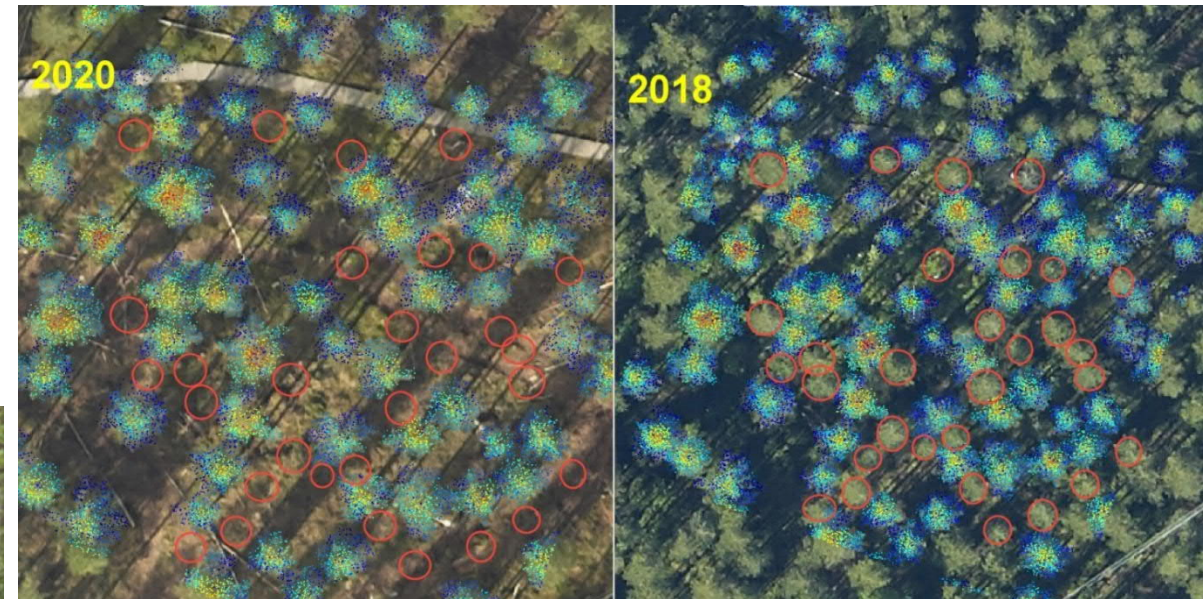
Kuvat: Juho Aalto

2. Prosessipohjainen lähestymistapa: CO₂-vaihdon pienemmän mittakaavan mittaukset kyveteillä



3. Biomassamittaukset

- Maastakäsin tehtävät mittaukset
- Kaukokartoitus
 - Muutokset metsän rakenteessa

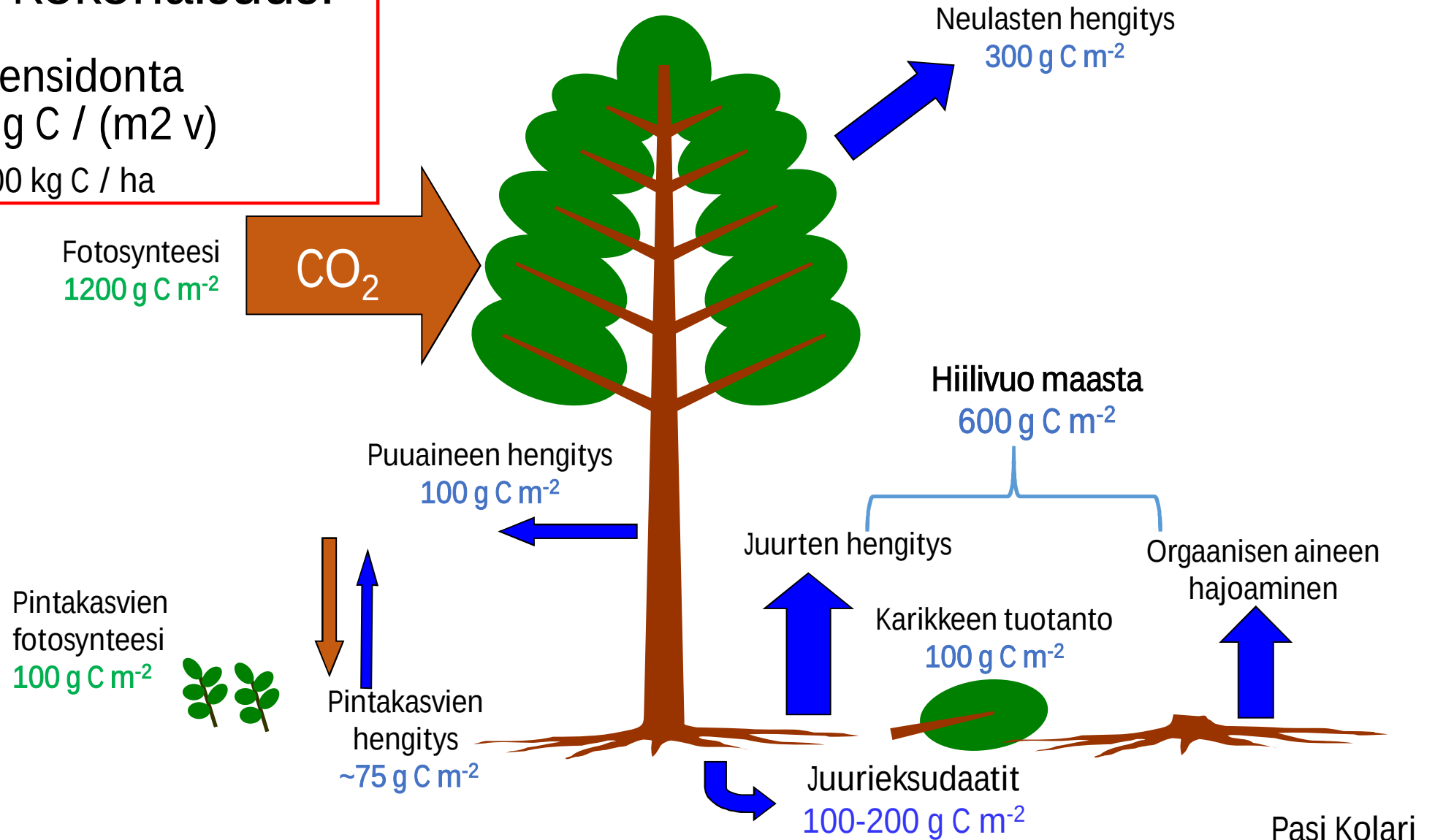


Ilkka Korpela, 2021: RGB images from 2020 and 2018 showing LiDAR point cloud from 2020 and removed dominant trees (circles).

Esimerkki 2: Smear II –metsikön hiilitase

1 - 3:  Kokonaisuus:

Nettohiilensidonta
200-300 g C / (m² v)
= 2000-3000 kg C / ha



Esimerkki 2: Smear II –metsikön hiilitase

Kasvihuonekaasut erilaisissa ekosysteemeissä

CO₂ ja metaani, keskimääräinen vuotuinen nettovuo,
CO₂-ekvivalentteina, g CO₂ m⁻² year⁻¹ :

- Metsä: - 1100
- Järvi: + 400
- Suo: + 150



SMEAR II -tutkimusmetsän harvennus

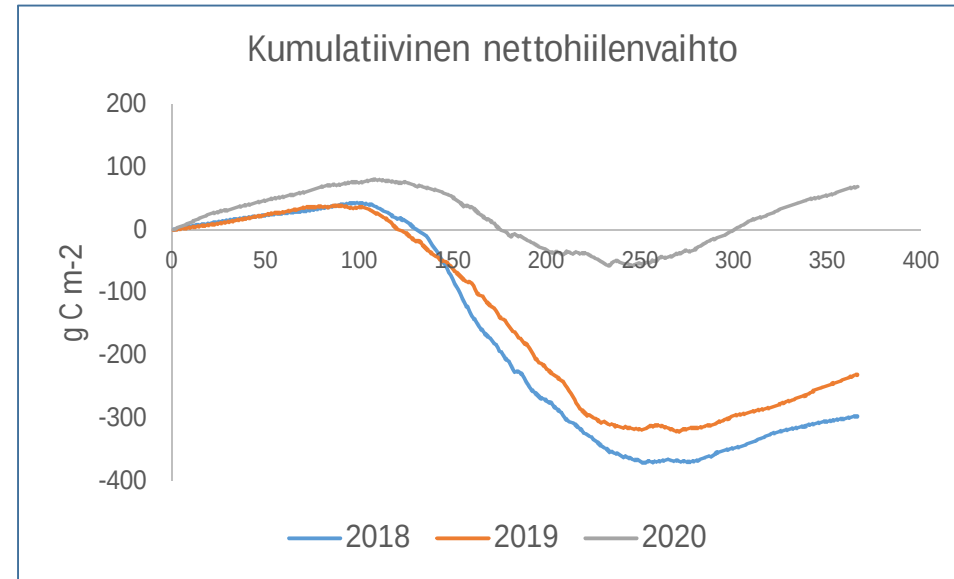
- Harvennus alkuvuodesta 2020
 - N. 30 ha
 - Alikasvos poistettu keväällä 2019
 - Keskimäärin poistettu
 - Puolet puista
 - 40 % pohjapinta-alasta
- Vaikutukset hiilitaseeseen, valonkäytön tehokkuuteen, VOC-voihin, pienhiukkasilmiöihin...?



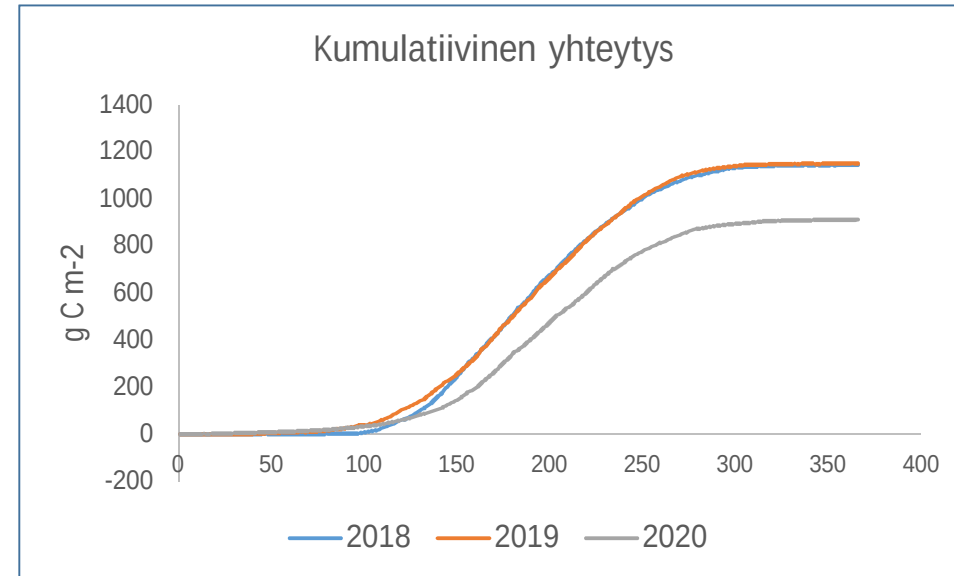
Harvennus

Alustavia tuloksia ekosysteemin hiilenvaihdosta

- Metsikkö muuttunut tilapäisesti hiilinielusta hiilen lähteeksi
- Yhteytyksen aleneminen
- Heterotrofisen hengityksen lisääntyminen (hakkuutähde, maanpinnan lämpeneminen)
- Kuinka monta vuotta palautuminen kestää?



Nollan alapuolella metsä on hiilen nettonielu, nollan yläpuolella hiilen lähde



1000 g C / m² =
10000 kg C / ha

Yhteenveto

- Ilmastonmuutoksella on sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia metsän elinvoimaan ja tuottoon / tuotokseen
 - Se, kuinka paljon kasvu lisääntyy, on vielä epäselvää
- Metsät hillitsevät ilmastonmuutosta
 - Hillintävaikutuksen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa metsänhoitotoimenpiteillä
- Tutkimuksella selvitetään näitä monimutkaisia vuorovaikutuksia



An aerial photograph of a vast, dense green forest. A tall, slender radio tower with a red and white striped pattern extends vertically from the forest floor towards the sky. At the base of the tower, there is a small, white, rectangular building. The sky is a clear blue with scattered white clouds. The horizon is visible in the distance, showing a flat landscape under a bright sky.

KIITOS!