

Markgeokemi: morän och skogsjordgeokemi i Hälleskogsbrännans naturreservat

Anna Ladenberger & George Morris

maj 2023

SGU-rapport 2023:07



Omslagsbild: Besöksplatsen vid Grävlingsberget i Hälleskogsbrännans naturreservat.
Fotograf: Anna Ladenberger

Författare: Anna Ladenberger & George Morris

Granskad av: Magnus Ripa

Ansvarig enhetschef: Ildiko Antal Lundin

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	5
Geokemisk kartering vid SGU	6
Metodik.....	8
Provtagning.....	8
Morän.....	8
Skogsjord	8
Provberedning.....	9
Analys	10
Kvalitetskontroll.....	10
Databehandling.....	11
Statistik.....	11
Kartor.....	14
Områdets geologi	14
Berggrunden	14
Kvartärgeologi.....	16
Geokemi i Hälleskogsbrännan – elementens förekomst och spridningmönster	17
Morän	17
Skogsjord.....	19
Summary	20
Referenser.....	23
Bilaga 1. Geokemiska kartor över morän och skogsjord i Hälleskogsbrännans naturreservat	24
Bilaga 2. Geokemiska kartor av bäckvattenväxter och skogsjord i Hälleskogsbrännan	71

SAMMANFATTNING

Hälleskogsbrännans naturreservat är ett område som drabbades av den stora skogsbranden i Västmanland sommaren 2014. Naturreservatet bildades 2015 och omfattar cirka 6 420 ha. Idag används Hälleskogsbrännans naturreservat som undersökningsfält där man studerar hur naturen återhämtar sig efter skogsbranden.

I Hälleskogsbrännans naturreservat samlades inom denna kartläggning 15 prov av morän och 26 prov av skogsjord in och analyserades för 53 grundämnen och pH-värde.

Moränens kemiska sammansättning beror till största delen på underliggande berggrunds mineralogiska och kemiska sammansättning. Berggrunden i undersökningsområdet domineras av granitiska bergarter med inslag av pegmatit, vilket återspeglas väl i moränens kemi genom förhöjda halter av bland annat Al, Ba, Be, K, La, Rb, Ta, Th, U, W och Yb. I de västra delarna av Hälleskogsbrännans reservat förekommer en blandning av geokemiska signaturer typiska för mafiska bergarter och för bergarter som omvandlats under hydrotermala processer. I de södra och sydöstra delarna kan det geokemiska mönstret förknippas med metasedimentär berggrund. Geografisk spridning av grundämnena visar också påverkan från den kvartära glaciologiska historien där moränen kan ha transporterats mer eller mindre långt och därmed kan ha en något annorlunda sammansättning än den direkt underliggande berggrunden. En jämförelse av den kemiska fördelningen mellan skogsjord och morän visar att Al och Fe anrikas i en ytlig horisont medan Ca, Mg, Sr, K, Mn och Na urlakas. Utfällning av oxider och hydroxider av aluminium respektive järn orsakar sekundär anrikning av andra metaller i ytlig jord, som till exempel Pb, Cd, As, Sb och Zn.

SGU:s geokemiska kartering av Hälleskogsbrännan bidrar, genom provtagning av morän och skogsjord, till kunskap om den kemiska sammansättningen i skogens jordprofil i området. Rapportens resultat kan användas både i miljöutvärderingar och forskningsstudier kring skogsbrandens påverkan på naturen.

INLEDNING

Hälleskogsbrännans naturreservat är en del av det område som drabbades av den stora skogsbranden i Västmanland sommaren 2014. Stora delar av det elddrabbade området hör idag till naturreservatet, vilket bildades 2015 och omfattar ca 6 500 ha. Naturreservatet Hälleskogsbrännan används för att studera skogsbrandsmiljö. Forskning och inventering av djur och växter pågår där sedan brandsläckningen. På flera håll i den branddrabbade skogen har jordlagret brunnit upp och karg sten har blottlagts, många träd brann också ner och föll till marken (fig. 1). Att marktäcke och rötter har brunnit upp gör att träden har sämre fäste i marken. Grundvattennivån och markens förmåga att hålla kvar regnvatten (så kallad retention) påverkas av den saknade växtligheten. Men skogen återhämtar sig snabbt. Efter en skogsbrand förändras marken, och askan ger under en tid ökad tillgång på näring. Branden ger nya möjligheter för flera olika slags växter, svampar och insekter som behöver brandskadade träd och nybränd skog för sin långsiktiga överlevnad.

SGU:s geokemiska kartering av Hälleskogsbrännan bidrar, genom provtagning av morän och skogsjord, till kunskap om naturliga bakgrundshalter i jord från ytlig och djup horisont kort efter branden.



Figur 1. Bränd skog i Hälleskogsbrännan år 2018. Foto: Anna Ladenberger

Burnt forest in Hälleskogsbrännan in 2018.

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

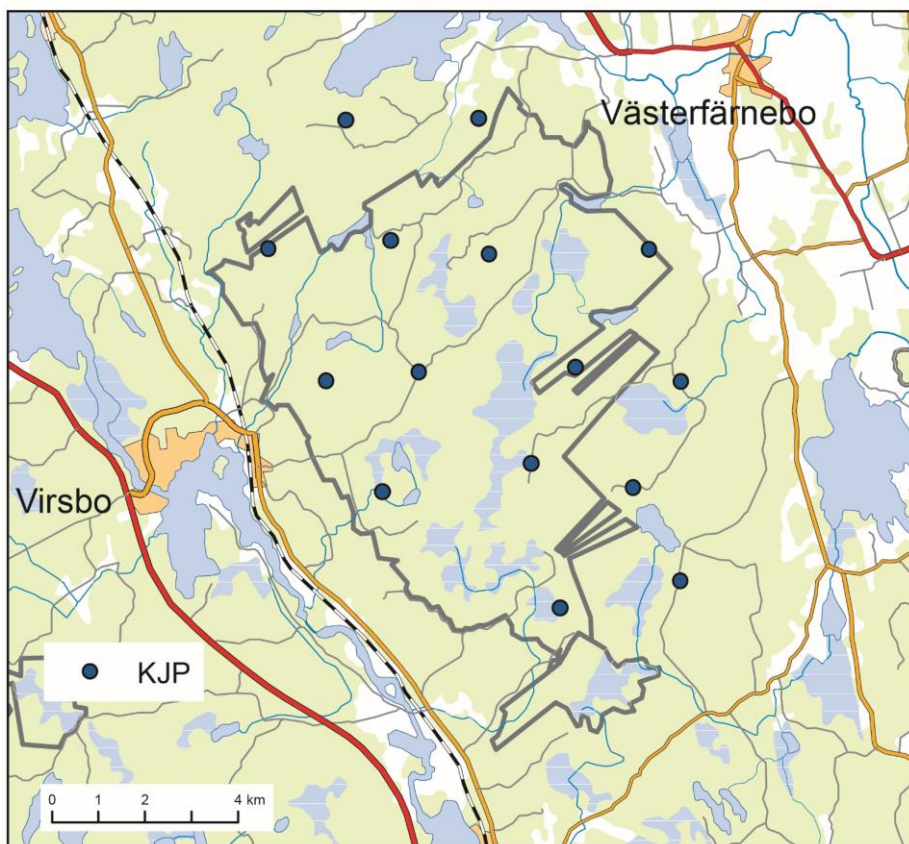
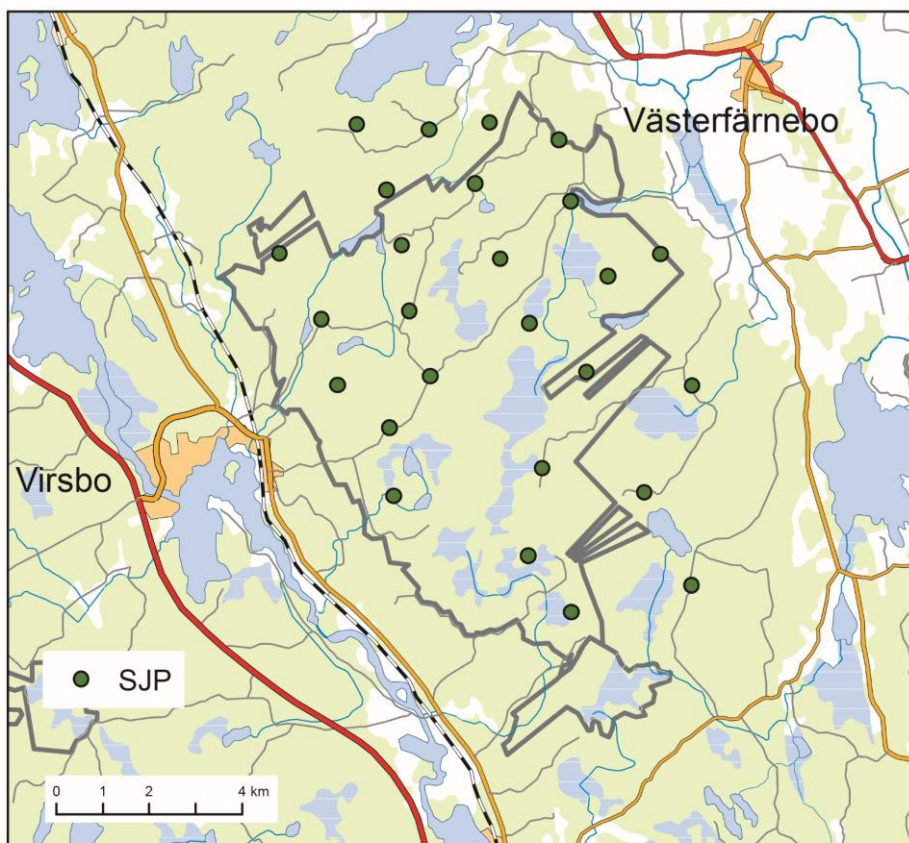
Geokemisk kartering vid SGU bedrivs huvudsakligen i syfte att visa den naturliga förekomsten av huvudämnen och spårämnen samt pH i mark och vatten. Vid regional markgeokemisk kartering provtas och analyseras finfraktionen av morän och sediment (lera, silt och sand). I tätortsgeokemi används yttlig jord och morän eller sediment samt näckmossa. Biogeokemisk kartering, som SGU bedrev 1982–2006, visar innehållet av grundämnena i bäckvattenväxter vilket indirekt avslöjar innehållet i det förbibrinnande vattnet. För mer detaljerad beskrivning av geokemisk kartering vid SGU se Lax & Selinus (2005) och Andersson m.fl. (2014).

Den aktuella kartläggningen berör naturreservatet Hälleskogsbrännan i Västmanland (fig 2). Hälleskogsbrännan omfattar en stor del av det avbrända området vid skogsbranden i Västmanland 2014. Naturreservatet bildades 2015 och omfattar cirka 6 420 ha. Kommuner som berörs är Sala, Surahammar och Fagersta.

Rapporten baseras på kemiska analyser av morän och yttlig skogsjord insamlade under provtagningssäsongen 2018 (fig. 2). Den markgeokemiska informationen har tagits fram som kartor och statistik med syfte att visa enskilda grundämnens regionala frekvens och geografiska fördelning. De flesta analyserade grundämnena som uppfyller stipulerade krav på analyskvalitet redovisas.

Kartorna över de kemiska parametrarna baseras på moränprov som normalt är tagna på ca 0,6–1,2 m djup och analyserade på finfraktionen (<0,063 mm) och skogsjordprov (<0,063 mm) tagna från A–B-horisonterna (10–20 cm djup). För morän och skogsjord har kartor framställts avseende Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Ge, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr samt pH.

Rapporten har framställts av Anna Ladenberger och George Morris. Ansvarig för pH-mätningar har varit Oles Savchuk och George Morris, och ICP-analyserna utfördes av Oles Savchuk på SGU:s geokemiska laboratorium. För analyskvalitet svarar George Morris. Proverna togs under sommaren 2018 av Anna Ladenberger, Harry Eriksson och George Morris. Rapporten granskades av Magnus Ripa.



Figur 2. Provtagningsplatser med skogsjord (SJP, 26 lokaler) och morän (KJP, 15 lokaler) i Hälleskogsbrännan.
Sampling sites of forest soil (SJP, 26 sites) and till (KJP, 15 sites) in Hälleskogsbrännan.

METODIK

Provtagning

Morän

Morän är en av de vanligaste jordarterna i Sverige och ca 75 procent av berggrunden bedöms vara täckt av morän (Wastenson & Fredén 1994). Den har generellt sett avsatts av flera inlandsisar, varav den senaste smälte för ca 14 000 år sedan i södra Sverige och ca 8 500 år sedan i norra Sverige. För karteringsändamål insamlas moränproven med kriterierna att de ska vara representativa för regionen och om möjligt vara av normal typ (så kallad siltig-sandig morän).

Moränprovtagningen sker förutsättningslöst, vilket betyder att ingen hänsyn tas till förekomst av malmer, mineraliseringar eller bergartstyper, men potentiellt förorenade områden ska undvikas.

Avståndet mellan proven är normalt ca 2,5 km, vilket innebär att det samlas in ungefär 15 prov per kvadratmil. Vid provtagningen genomgrävs podsolprofilen för hand med spade och spett tills en ren C-horisont med morän uppnås. Provdjupet varierar efter förhållandena men är normalt 0,6–1,2 m för C-horisonten. Provet, som uppgår till ca 0,8 kg, tas sedan ett stycke ner i C-horisonten genom att material slås loss på några ställen i gropens botten (fig. 3). Moränens C-horisont är så gott som uteslutande geologiskt relaterad och kan lättare kopplas till berggrunden. Morän kan ses som ett kompositprov av moderbergarterna, dvs. de inlandsisen underliggande bergarterna.

I Hälleskogsbrännans naturreservat samlades 15 prov av morän in (fig. 2), och de ingår i SGU:s program för regionalartering i Bergslagen. Provtätheten motsvarar ett rutnät som används i regional kartering med ca 1 prov per 7 km².

Skogsjord

Skogsjord provtas inte standardmässigt i SGU:s regionala kartering. I detta projekt grävdes ytliga prov av skogsjord fram med spade från ca 10–20 cm djup beroende på tjockleken av det organiska lagret med mossor och växter (fig. 4). Organiskt material inklusive aska undveks och minerogent material provtogs i vikter upp till 0,5 kg. Större rötter rensades på plats. Tjugosex prov av skogsjord samlades in inom reservatets gränser, varav 15 från samma lokaler som moränproverna (fig. 2).



Figur 3. Typisk provlokal i podsol. Provdjup ca 0,8 m.
Foto: Anna Ladenberger

Typical sampling site in podzol. Sampling depth ca 0.8 m.



Figur 4. Provtagning av skogsjord i Hälleskogsbrännan. Foto: George Morris

Sampling site of the forest soil.

Provberedning

Proven vakuumtorkas och siktas på nylonsikt med maskvidder på 2 mm och 0,063 mm. Anledningen till att proven fraktioneras före analys är att den så kallade finfraktionen (<0,063 mm) nästan enbart innehåller monomineralkorn. Grövre fraktioner har korn som består av flera olika mineral, vilket ökar haltvariationen vid upprepad provtagning och analys. Det är därmed svårare att ta jämförbara, representativa prov och att få reproducerbarhet i analyserna om grövre fraktioner analyseras. Finfraktionen behöver inte heller malas före analys, vilket annars kan ge oönskad kontaminering av proven.

I samband med siktningen testas samtliga prov med saltsyra (HCl) för att upptäcka eventuellt kalkinnehåll. Fraktionerna över 0,063 mm och den mängd material <0,063 mm som inte behövs för analyser arkiveras för eventuella framtida analyser.

Analys

Alla prov analyseras i randomiserad ordning vilket betyder en slumpvis ny numrering av proven, som tillsammans med 5 procent kontrollprov utgör populationen för analys. Randomiseringen görs för att undvika den systematiska variation i grundämneskoncentrationer som annars är vanlig vid ett laboratoriums analys av provmaterial och som skulle framstå som falska geografiska anomalier i det slutliga datasetet.

Finfraktionen av 15 moränprover och 26 skogsjordprover analyserades på 53 grundämnen och pH. Kemisk analys av proven görs vid SGU efter partiell lakning av 2 g prov med salpetersyra (7M HNO₃) med plasmateknik (ICP-MS). Analysresultaten omfattar 53 grundämnen: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr. Analysdetaljer kan man hitta i Morris m.fl. (2020).

Jordarternas surhetsgrad anges efter en pH-bestämning av proven efter uppslamning av 4 g prov i 20 ml avjoniserat vatten. Ytterligare en pH-mätning görs efter tillsats av utspädd svavelsyra (12,5 mM H₂SO₄). Med de båda mätningarna kan provets förmåga att motstå surt markvatten beräknas, det vill säga dess buffertkapacitet eller försurningsresistens.

Kvalitetskontroll

Vid hanteringen av analysresultaten genomförs en omfattande kvalitetskontroll. Mindre haltvariationer kan uppstå i princip i varje enskilt skede vid en geokemisk kartering. Genom att undersöka dubbelprov (replikat) tagna i fält undersöks den så kallade totalvariansen. I denna ingår skillnader som uppkommer på grund av småskalig inhomogenitet i moränens sammansättning, som normalt är relativt liten (undantaget för vissa grundämnen, som t ex guld, som uppvisar en så kallad kluster- eller nugget-effekt), samt varianser uppkomna vid torkning, siktnings, uppvägning, uppslutning och analys. Även analysvariansen undersöks med hjälp av internt standardprov. Det bör påpekas att enbart kännedom om analysvariansen inte är tillräcklig för att bedöma om resultaten kan användas vid geokemisk kartering. Totalvariansen är en minst lika viktig och i vissa fall bättre bedömningsgrund.

Utifrån statistisk och visuell granskning kan fel upptäckas och åtgärdas, och endast grundämnen med god eller tillfredsställande kvalitet offentliggörs. För att få jämförbara resultat år från år i det fortlöpande analysarbetet finns även kontrollprov inlagda. I dagsläget utgör ca 10 procent av alla analyser någon form av kontrollprov (till exempel fältreplikat, internt standardprov, internationella certifierade standardprov).

En svårighet vid kartframställning över stora områden är att hantera många års analyser. Även om de enskilda årens kvalitetskontroller har lämnat godkända analyser uppstår problem med nivåskillnader i analysresultaten för en del grundämnen. Orsaken är oftast utvecklingen av metodik och analysinstrument som över åren ger allt säkrare analyser. En visuell kontroll av resultaten i kartform (där nya resultat jämförs med äldre) är därför nödvändig. Ibland används nivellering av analysvärden för att skapa en homogen bild av grundämnenas fördelning.

Databehandling

Statistik

Grundläggande statistik (minimum, maximum, medel, median, standardavvikelse och variationskoefficient) med enklare percentilindelning visas i tabell 1 och 2. I tabellerna används 10:e, 50:e, och 90:e percentilen, där 50:e percentilen utgör medianvärdet. 90:e percentilen innebär att 10 % av antalet analyser för ett specifikt element har halter som överstiger motsvarande analysvärde.

Tabell 1. Grundläggande statistik för morän (< 0,063 mm, n=15) från Hälleskogsbrännan. Analysmetod: Lakning med salpetersyra och analys med ICP-MS och pH.

Basic statistics for till (<0.063 mm, n=15) from Hälleskogsbrännan. Analytical method: Extraction by nitric acid analyzed by ICP-MS and pH.

Parameter	Provtyp	Min	Medel	Median	Max	SD	CV%	p10	p50	p90
Na	morän	64	103	103	147	23	23	79	103	132
Mg	morän	1818	3950	3627	7848	1358	34	2912	3627	5251
Al	morän	9862	17756	17370	38592	6334	36	12663	17370	20582
P	morän	45	369	382	634	163	44	189	382	556
K	morän	255	835	669	3213	670	80	427	669	1025
Ca	morän	126	220	224	325	68	31	137	224	297
Ti	morän	488	963	928	1330	225	23	705	928	1275
V	morän	15	27	25	43	8	28	19	25	39
Cr	morän	10	20	16	48	11	55	12	16	35
Mn	morän	88	197	191	358	68	34	115	191	267
Fe	morän	6804	14363	14111	24943	4149	29	10578	14111	19251
Rb	morän	3,8	9,8	8,1	31,8	6,4	65,7	5,3	8,1	12,4
Sr	morän	8,3	12,2	12,2	17,1	2,1	16,9	10,0	12,2	14,2
Y	morän	6,8	15,6	15,7	31,8	5,0	32,3	12,3	15,7	17,3
Ba	morän	15,3	54,2	50,5	132,2	26,7	49,2	27,6	50,5	74,0
La	morän	15,6	26,7	23,9	38,8	6,3	23,6	21,1	23,9	35,6
Ce	morän	30,1	68,3	61,6	126,1	29,1	42,6	41,5	61,6	119,6
U	morän	1,8	5,3	3,5	27,4	6,1	115,1	2,2	3,5	6,8
Li	morän	4,7	8,6	8,2	15,8	2,5	29,4	5,8	8,2	10,2
Be	morän	0,6	0,8	0,8	1,1	0,2	21,2	0,6	0,8	1,0
B	morän	0,12	0,51	0,48	0,92	0,20	39,84	0,26	0,48	0,78
Sc	morän	2,7	4,5	4,3	6,7	1,1	25,2	3,1	4,3	6,0
Cr	morän	9,3	18,4	14,1	47,2	10,4	56,4	11,9	14,1	32,6
Co	morän	2,4	5,2	5,2	8,6	1,8	33,5	3,3	5,2	7,6
Ni	morän	4,4	9,9	8,9	25,8	4,9	49,2	6,8	8,9	13,7
Cu	morän	3,4	14,7	10,7	30,6	8,7	58,8	5,8	10,7	27,2
Zn	morän	15,1	28,0	27,2	58,5	10,1	36,0	18,9	27,2	36,0
Ge	morän	0,05	0,09	0,09	0,11	0,02	20,43	0,06	0,09	0,11
As	morän	0,70	2,40	1,39	10,60	2,49	103,72	0,90	1,39	4,51
Se	morän	0,25	0,40	0,39	0,61	0,11	27,61	0,27	0,39	0,54
Zr	morän	10,2	16,9	16,6	27,2	3,7	22,2	13,0	16,6	19,8
Nb	morän	0,37	1,10	1,02	2,63	0,67	60,61	0,52	1,02	2,06
Mo	morän	0,18	0,41	0,33	1,20	0,26	63,07	0,21	0,33	0,71
Ag	morän	0,05	0,08	0,08	0,14	0,02	23,38	0,07	0,08	0,10

Tabell 1. Fortsättning.

Parameter	Provtyp	Min	Medel	Median	Max	SD	CV%	p10	p50	p90
Cd	morän	0,03	0,06	0,05	0,08	0,02	31,59	0,03	0,05	0,08
Sn	morän	0,29	0,46	0,48	0,59	0,08	16,49	0,36	0,48	0,53
Sb	morän	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	40,91	0,00	0,01	0,01
Cs	morän	0,50	1,19	1,10	2,90	0,54	45,40	0,73	1,10	1,48
Ba	morän	15	57	54	141	29	51	30	54	79
Pr	morän	3,8	6,7	6,3	10,4	1,7	25,9	4,8	6,3	9,3
Nd	morän	15,0	27,3	25,4	43,3	7,5	27,4	20,1	25,4	37,9
Sm	morän	2,6	5,1	4,8	8,5	1,4	27,4	3,7	4,8	6,9
Eu	morän	0,34	0,64	0,63	1,06	0,15	23,57	0,51	0,63	0,77
Gd	morän	2,56	5,23	4,98	8,44	1,37	26,11	4,01	4,98	6,82
Tb	morän	0,31	0,66	0,66	1,08	0,17	24,94	0,52	0,66	0,82
Dy	morän	1,61	3,66	3,78	6,10	0,93	25,48	2,96	3,78	4,30
Ho	morän	0,29	0,69	0,69	1,20	0,19	27,22	0,54	0,69	0,79
Er	morän	0,85	2,05	2,05	3,62	0,57	27,99	1,60	2,05	2,45
Tm	morän	0,11	0,28	0,29	0,50	0,08	29,15	0,21	0,29	0,35
Yb	morän	0,72	1,84	1,84	3,15	0,54	29,17	1,34	1,84	2,38
Lu	morän	0,10	0,26	0,25	0,45	0,08	29,41	0,19	0,25	0,34
W	morän	0,05	0,24	0,23	0,49	0,14	58,90	0,07	0,23	0,44
Tl	morän	0,03	0,08	0,08	0,19	0,04	47,62	0,04	0,08	0,12
Pb	morän	5	11	11	20	4	34	7	11	14
Bi	morän	0,15	0,27	0,25	0,46	0,08	31,56	0,16	0,25	0,37
Th	morän	9,5	15,7	13,7	25,4	5,1	32,2	10,7	13,7	22,9
U	morän	2,0	6,0	3,8	33,0	7,4	124,2	2,4	3,8	7,5
pH	morän	4,6	4,9	4,9	5,2	0,2	3,5	4,7	4,9	5,1
pH1	morän	2,9	3,6	3,7	4,0	0,3	7,4	3,3	3,7	3,9

Tabell 2. Grundläggande statistik för skogsjord (< 0,063 mm, n=26) från Hälleskogsbrännan. Analysmetod: Lakning med salpetersyra och analys med ICP-MS och pH.

Basic statistics for forest soil (<0.063 mmm n=26) from Hälleskogsbrännan. Analytical method: Extraction by nitric acid analyzed by ICP-MS and pH.

Parameter	Provtyp	Min	Medel	Median	Max	SD	CV%	p10	p50	p90
Na	skogsjord	46	67	63	108	15	22	50	63	82
Mg	skogsjord	314	2049	1762	5472	1198	58	770	1762	3612
Al	skogsjord	5511	21569	21954	53871	10379	48	10254	21954	28715
P	skogsjord	96	393	308	1048	238	61	185	308	754
K	skogsjord	192	352	308	788	149	42	202	308	563
Ca	skogsjord	67	108	105	197	29	27	76	105	137
Ti	skogsjord	157	688	670	1500	302	44	419	670	958
V	skogsjord	13	32	27	63	12	39	21	27	54
Cr	skogsjord	5	16	14	51	9	55	9	14	24
Mn	skogsjord	19	146	95	746	147	101	42	95	305
Fe	skogsjord	7643	20190	19582	42007	7259	36	12914	19582	31372
Rb	skogsjord	3,9	10,6	9,9	22,0	4,8	45,7	4,7	9,9	17,6
Sr	skogsjord	4,1	7,8	7,5	13,9	1,9	24,2	6,0	7,5	9,9
Y	skogsjord	2,2	8,6	6,8	26,4	6,3	73,2	3,2	6,8	16,3
Ba	skogsjord	15,2	38,6	31,4	123,7	22,3	57,9	20,4	31,4	62,7

Tabell 2. Fortsättning.

Parameter	Provtyp	Min	Medel	Median	Max	SD	CV%	p10	p50	p90
La	skogsjord	7,1	16,3	13,4	47,9	9,0	54,9	8,8	13,4	25,4
Ce	skogsjord	15,6	62,7	35,0	501,1	92,5	147,6	17,0	35,0	88,5
U	skogsjord	0,4	3,4	1,7	12,2	3,1	92,5	0,7	1,7	8,7
Li	skogsjord	2,2	14,3	12,6	32,8	6,6	46,3	8,5	12,6	23,3
Be	skogsjord	0,2	1,0	0,9	3,5	0,7	66,3	0,4	0,9	1,5
B	skogsjord	0,03	0,73	0,76	1,96	0,40	54,68	0,20	0,76	1,06
Sc	skogsjord	0,8	3,0	2,5	7,3	1,6	52,4	1,4	2,5	5,3
Cr	skogsjord	3,5	15,4	13,7	47,7	8,6	55,6	8,2	13,7	23,6
Co	skogsjord	0,5	3,9	3,0	18,0	3,5	89,7	1,3	3,0	6,2
Ni	skogsjord	1,5	6,1	5,7	17,3	3,8	63,2	2,5	5,7	9,2
Cu	skogsjord	1,2	6,7	5,8	18,4	4,1	61,5	2,6	5,8	12,4
Zn	skogsjord	17,2	45,4	32,5	167,4	31,8	70,0	19,6	32,5	79,1
Ge	skogsjord	0,03	0,05	0,05	0,13	0,02	44,92	0,03	0,05	0,07
As	skogsjord	1,09	2,50	2,10	5,16	1,22	48,79	1,21	2,10	4,62
Se	skogsjord	0,29	0,76	0,70	2,23	0,44	57,51	0,32	0,70	1,28
Zr	skogsjord	1,9	7,9	7,0	16,1	3,6	45,9	4,1	7,0	13,1
Nb	skogsjord	1,50	3,02	2,81	5,71	1,10	36,31	1,66	2,81	4,80
Mo	skogsjord	0,23	1,15	0,79	4,96	0,92	79,78	0,48	0,79	1,77
Ag	skogsjord	0,03	0,08	0,08	0,17	0,04	45,00	0,04	0,08	0,14
Cd	skogsjord	0,06	0,11	0,10	0,37	0,06	55,27	0,07	0,10	0,16
Sn	skogsjord	0,18	0,47	0,49	0,85	0,14	29,15	0,31	0,49	0,60
Sb	skogsjord	0,01	0,03	0,03	0,07	0,02	46,51	0,02	0,03	0,05
Cs	skogsjord	0,47	1,58	1,39	3,90	0,70	44,55	1,06	1,39	2,36
Ba	skogsjord	14	40	32	126	23	59	21	32	63
Pr	skogsjord	1,6	3,6	3,1	9,6	2,0	53,6	2,0	3,1	5,4
Nd	skogsjord	6,3	14,7	11,6	46,5	9,6	65,5	7,4	11,6	21,7
Sm	skogsjord	1,1	2,8	2,2	8,2	1,8	64,1	1,4	2,2	4,6
Eu	skogsjord	0,14	0,38	0,32	1,16	0,24	64,04	0,19	0,32	0,59
Gd	skogsjord	1,10	3,18	2,35	13,33	2,58	81,24	1,34	2,35	4,79
Tb	skogsjord	0,12	0,39	0,31	1,16	0,26	68,07	0,16	0,31	0,67
Dy	skogsjord	0,56	2,14	1,76	6,21	1,49	69,38	0,79	1,76	3,88
Ho	skogsjord	0,10	0,39	0,32	1,21	0,28	71,68	0,14	0,32	0,67
Er	skogsjord	0,29	1,12	0,91	3,66	0,81	72,60	0,41	0,91	1,92
Tm	skogsjord	0,04	0,15	0,12	0,52	0,11	74,32	0,05	0,12	0,27
Yb	skogsjord	0,22	0,97	0,76	3,42	0,74	75,55	0,35	0,76	1,75
Lu	skogsjord	0,03	0,13	0,10	0,48	0,10	76,27	0,05	0,10	0,22
W	skogsjord	0,06	0,23	0,15	1,11	0,22	94,70	0,08	0,15	0,47
Tl	skogsjord	0,03	0,09	0,09	0,18	0,04	41,60	0,05	0,09	0,13
Pb	skogsjord	11	20	19	45	7	36	13	19	29
Bi	skogsjord	0,16	0,33	0,29	0,80	0,13	41,36	0,22	0,29	0,43
Th	skogsjord	3,5	9,9	8,2	24,2	5,5	55,4	4,3	8,2	17,2
U	skogsjord	0,5	3,5	1,9	11,9	3,2	90,9	0,8	1,9	9,2
pH	skogsjord	4,4	4,8	4,8	5,2	0,2	4,5	4,5	4,8	5,1
pH1	skogsjord	3,4	4,0	4,0	4,3	0,3	6,9	3,5	4,0	4,2

Kartor

I rapporten redovisas ett antal grundämnen och pH i form av symbol- och rasterkartor (bilaga 1 & 2). Endast element med god analyskvalitet används för kartframställningen. Att alla sällsynta jordartsmetaller inte plottas på karta förklaras av deras generellt enhetliga fördelningsmönster (de har inbördes lika kemiska egenskaper). Kartor över lantan, cerium, neodym och europium representerar den lätta gruppen av sällsynta jordartsmetaller. Kartor över yttrium och lutetium representerar den tunga gruppen. Elementen i de båda grupperna har dock liknande kemiska egenskaper och de uppträder ofta tillsammans.

Färgskalorna för de markgeokemiska elementkartorna är satta från grönt (låga halter för elementen, höga pH-värden) till rött (höga halter för elementen, låga pH-värden). Färgskalan är relativ och används för att kunna sätta olika geokemiska regioner i relation till varandra.

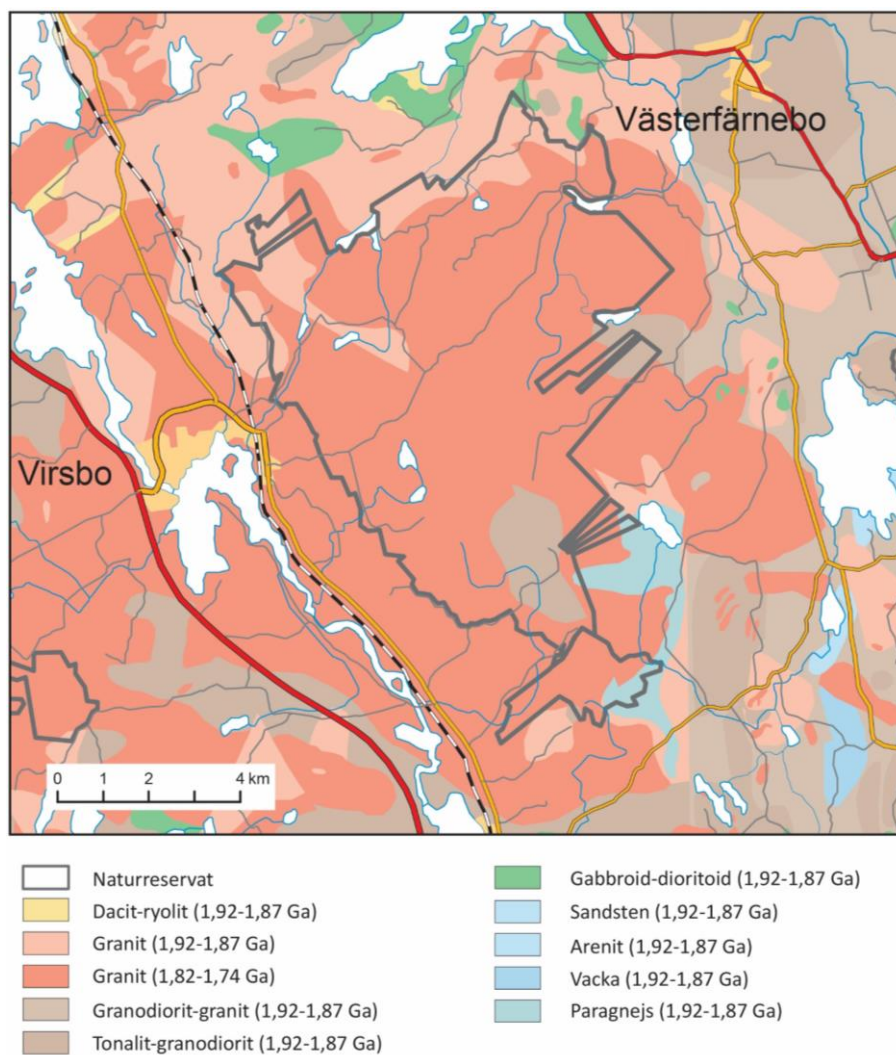
Oberoende av färgskala är det viktigt att påpeka att höga halter eller andra värden inte automatiskt innebär att det t.ex. finns någon risk för negativ miljöpåverkan! Klassindelningen med percentiler (10:e, 25:e, 50:e, 75:e och 90:e percentilen) på färgkartorna grundar sig på denna rapporters datamängd för morän och skogsjord, för pH används fasta klassgränser.

OMRÅDETS GEOLOGI

Berggrunden

Det undersökta området ligger i den centrala delen av Bergslagen. Berggrunden är okomplicerad och domineras av sen-palaeoproterozoiska (svekokarelska) djupbergarter bestående av granit och pegmatit (GP) samt lite äldre granodiorit-granit (GDG) typer (Stephens m.fl., 2009). I sydöstra delen förekommer metasedimentära bergarter (metasandstenar) tillhörande till den äldre generation än GDG-gruppen. Utanför reservatets norra och nordvästra gränser kan mafiska kroppar av gabbro-diorit samt vulkaniska bergarter som metadacit och metaryolit påträffas (fig. 5). De flesta bergarterna är i allmänhet metamorfa, dvs. de har omvandlats genom att de utsatts för höga tryck och temperaturer. De felsiska bergarter som dominerar i området består huvudsakligen av ljusa, kisel- och aluminiumrika mineral som kvarts och fältspat med mindre innehåll av Fe- och Mg-haltiga mineral som glimmer och amfibol. Grundämnen som barium, rubidium, torium, kalium och sällsynta jordartsmetaller kan förekomma i större mängder i de kristallina bergarterna som granit och granodiorit. I pegmatit kan anrikning av litium, cesium, niob, yttrium och tantal påträffas (Stephens m.fl., 2009). De typiska metamorfa, sedimentära bergarterna domineras av metagråvackor. Dessa avsattes ursprungligen i ett hav i form av omväxlande skikt i ungefär decimeterskala av sand och lera. De lerdominerade skikten består efter metamorfos till stora delar av glimrar medan de sandiga skikten består av kvarts med underordnad fältspat och glimmer. Inga större mineraliseringar noteras i undersökningsområdet.

Berggrundens karaktär ligger delvis bakom det kraftigt kuperade landskapet. Generellt är det granitområdena som höjer sig över omgivande terränger. Yngre graniter har varierande topografi med kraftiga och branta sluttningar, medan äldre graniter i regel har jämnare och flackare sluttningar.



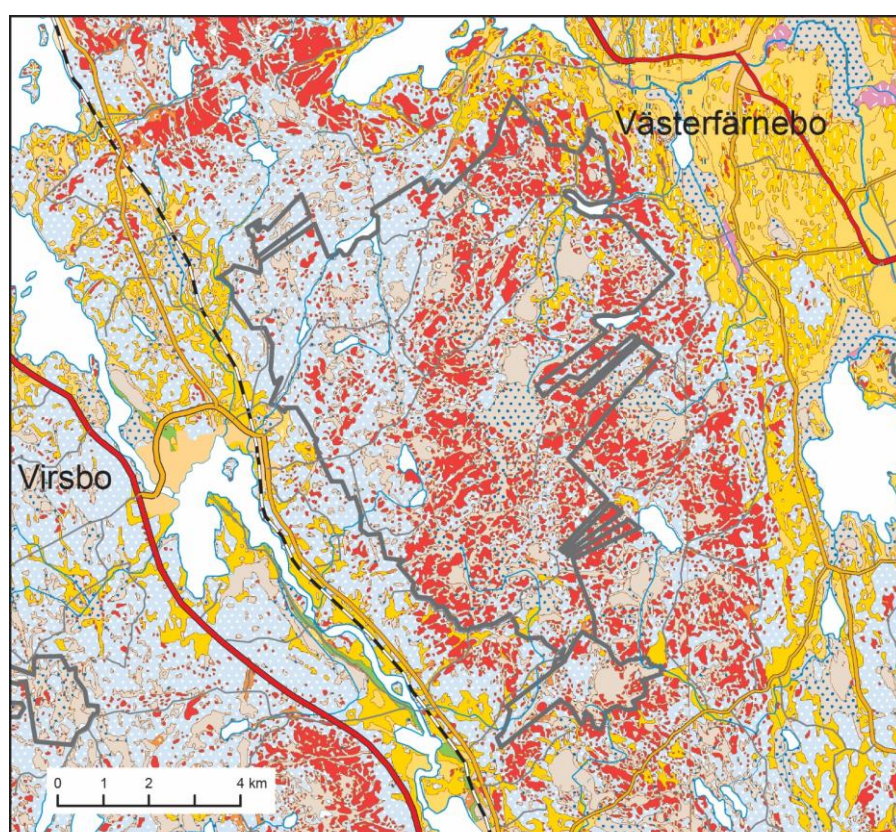
Figur 5. Geologisk karta över Hälleskogsbrännan (från SGU:s databas Berggrund 1:50 000–1:250 000).

Geological map of Hälleskogsbrännan (from SGU database Bedrock 1: 50 000–1:250 000).

Kvartärgeologi

Jordlagren i Sverige har bildats under kvartärtiden, som inleddes för 2,6 miljoner år sedan och som kännetecknas av ett periodvis kallt klimat. Mellan istiderna rådde isfria perioder, interglacialer, med klimat som var likartat med eller varmare än dagens. Den senaste istiden, Weichselistiden, inleddes för ca 115 000 år sedan. Jordarterna som nu till stora delar täcker berggrunden har med några undantag avsatts under Weichselistiden och under den efterföljande, postglaciala tiden. För ca 11 000 år sedan var södra och mellersta Sverige isfritt och isranden sträckte sig från trakterna av nuvarande Karlstad i väster mot Uppsalaslätten i öster. Söder om isranden var stora delar av landet täckt av hav. Den högsta nivån i terrängen som varit täckt av hav, benämns högsta kustlinjen (HK). Hälleskogsbrännans naturreservat ligger under högsta kustlinjen. När landet steg ur havet påverkades jordlagren av vågornas svallning och vattendragens erosion, och svall-, älv- och svämsediment avsattes.

I Hälleskogsbrännan förekommer en blandning av moränavlagringar, torv och berghällar (fig. 6). Sandig morän bildar tjockare lager i västra och nordvästra delen i ett moränbacklandskap med kullar och ryggar. Moränen är sandig med inslag av silt, och visar påverkan från vatten. Dessa moränformer är ofta också storblockiga. Resten av området domineras av berghällar med tunna jordlager och både mosstorv- och kärrtorvmark som är belägna på den vidsträckta urbergsplatån. Mindre förekomster av glaciala siltiga och leriga sediment påträffas i anslutning till små vattendrag. Den dominerande isrörelseriktning är från nord till syd (mot ca 170°).



Naturresevat	Postglacial finsand	Isälvsediment, sand
Mossetorv	Postglacial sand	Sandig morän
Kärrtorv	Svallsediment, grus	Grusig morän
Svämsediment, ler-silt	Klapper	Vitringsjord
Gyttjeler (eller lergyttja)	Glacial lera	Urberg
Postglacial lera	Glacial silt	Fyllning
Postglacial silt	Isälvsediment	Vatten

Figur 6. Jordartskarta över Hälleskogsbrännan (från SGU:s databas Jordarter 1:25 000–1:100 000).

Soil map of Hälleskogsbrännan (from SGU data-base Soil types 1:25 000–1:100 000).

GEOKEMI I HÄLLESKOGSBRÄNNAN – GRUNDÄMNE NAS FÖREKOMST OCH SPRIDNINGMÖNSTER

De grundämnen som cirkulerar i miljön härstammar till stor del från marken. Markbundna mineral vittrar och frigör grundämnen som sedan kan tas upp av växter och djur. Allt levande är beroende av ett flertal olika grundämnen för att upprätthålla vitala biologiska funktioner. För att organismerna inte ska bli lidande krävs en god balans av tillskott. Alltför låga halter kan å ena sidan ge upphov till bristrelaterade sjukdomar, medan alltför höga halter å andra sidan kan ge toxiska effekter.

De naturliga ekosystem som omger oss är i högre grad än människan starkt beroende av den lokala marken och dess innehåll av grundämnen. Oftast har ekosystemen anpassat sig till de förhållanden som råder, men snabba miljöförändringar kan innebära stora påfrestningar. Detta kan inträffa om belastningar såsom kraftig förorening av metaller eller sura regn påverkar näringskedjan.

Vertikalt i marken varierar den kemiska sammansättningen, bland annat på grund av jordmånsbildande markprocesser. Vilken typ av jordmån (markprofil) som bildas beror på ett flertal faktorer, som till exempel jordart, mineralinnehåll, markanvändning, vegetation och klimat. Den vanligaste jordmånen i svensk skogsmark är podsol (fig. 3), som utvecklas i näringsfattiga marker. I dess översta mineraljordshorisont, blekjorden, har kemiska och biologiska processer lakat ur de flesta huvudämnen (till exempel kalcium, magnesium och natrium) och metaller som till exempel zink eller koppar. Några av dessa, till exempel järn och aluminium, har fällt ut i den underliggande, ofta rostfärgade B-horisonten. Den kemiska sammansättningen i dessa båda markskikt beror främst på innehållet av primära (bergartsbildande) mineral och på sekundära mineral och föreningar som bildats vid vittring och urlakning. En del ämnen kan dock tillföras via luft och nederbörd. Under B-horisonten, i C-horisonten, har markprocesserna ingen eller liten effekt på mineraljorden och grundämnena förekommer så gott som uteslutande i primära mineral. Undantag från detta är till exempel vissa sulfidmineral som är instabila ovan grundvattenytan.

Ett mått på grundämnens rörlighet är deras lakbarhet, som varierar kraftigt beroende på vilka mineral de sitter bundna i. Hög lakbarhet för ett grundämne anger att en procentuellt stor del av den totala tillgången på grundämnet blir lösligt vid en tillsats av syra, exempelvis salpetersyra eller kungsvatten. Detta anger grundämnets tillgänglighet på sikt för växterna och för markens neutralisationsförmåga. En låg lakbarhet anger däremot att grundämnet är hårt bundet i markmineralen och därmed svåråtkomligt. Olika markmineral har i naturen olika benägenhet att vittra sönder, och det är genom vittring som grundämnen frigörs. Markmineralen kan därför grupperas efter sin vittringsbenägenhet i stigande grad från de nästan helt vittringsresistenta mineralen kvarts, rutil, titanit och zirkon < kalifältspat, muskovit, natriumrika plagioklaser < hornblände, biotit, klorit, vissa pyroxener < epidot, apatit, olivin, granat, pyroxener och kalciumrika plagioklaser och slutligen till de mycket lättvittrade karbonaterna, som till exempel kalcit. Variationer av lakbarheten för grundämnena i morän ger indirekt en uppfattning om provens mineralogiska sammansättning (Snäll & Ek 2000).

Morän

I undersökningsområdet Hälleskogsbrännan har prov samlats in från 15 lokaler med morän (fig. 2). Ett prov per 7 km² samlades in inom naturreservatets gränser, i ett område på ca 6 420 ha och i närliggande skogsområde norr och öster om reservatet. Topografin domineras av urbergets plåtå samt kuperat landskap med torvmark och mindre vattendrag. Ursprungligen var hela området täckt av produktiv skog. Undersökningsområdet ligger under högsta kustlinjen (HK) och

morängeokemin påverkas sannolikt av postglaciala processer i aktiv havsmiljö. Moränområden under högsta kustlinjen har varit utsatta för framför allt svallning av vågrörelser, och finmaterial har sköljts ur.

Moränens kemiska innehåll beror till största delen på berggrundens varierande ursprungliga mineralogiska och kemiska sammansättning. Moränernas sammansättning domineras av lokala bergarter och de är generellt korttransporterade (Sohlenius m.fl. 2009). Bergartsinnehållet gör att texturen hos moränerna varierar. Morän i ett granitområde innehåller alla olika kornstorlekar, medan yngre graniter (GP) bidrar till en mer blockrik morän till skillnad från morän från de äldre graniterna (t.ex. GDG). I ett område med mafiska bergarter, som har högre vittringsförmåga, är moränen oftare mer finkornig med större inslag av lermineral.

Berggrunden i undersökningsområdet domineras av granitiska bergarter med inslag av pegmatit (**fig. 5**). De förhöjningar av grundämnen i morän som kan kopplas till granitoider och pegmatiter är till exempel Al, Au, Ba, Be, Bi, Cd, K, La, Nb, Rb, Sb, Sn, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, W och Yb. Denna kemiska signatur stämmer väl överens med den lokala berggrundsgeokemin.

Litogeokemidata visar att en GP-granit (yngre GP 1,83–1,75 Ga) nära Gammelby (väster om Hälleskogsbrännan) har höga halter bland annat av Ba (1460 ppm), Ce (226 ppm), Ga (15 ppm), Nb (24 ppm), Rb (110 ppm), Sc (12 ppm), Sr (386 ppm), Th (25 ppm), U (4,6 ppm), Y (22 ppm) och Zr (383 ppm). En GP-granit (yngre GP 1,83–1,75 Ga) från Axholm (öster om reservatet) visar anrikning i Ba (871 ppm), Ce (253 ppm), Nb (20 ppm), Rb (190 ppm), Sr (112 ppm), Th (25 ppm), U (12 ppm), Y (34 ppm) och Zr (305 ppm). Söder om reservatet finns gnejsgranodiorit (äldre GDG, 1,96–1,87 Ga) som har höga halter av Ba (1200 ppm), Cu (27 ppm), Ga (17 ppm), Rb (97 ppm), Sr (364 ppm), Y (16 ppm) och Zn (54 ppm).

Mafiska bergarter (med övervägande mörkfärgade mineral) samt järnmineraliseringar i skarn förekommer norr om Hälleskogsbrännan, runt Nyhyttan (Spikgruvan). Mafiska intrusiva bergarter har låga kiselhalter, runt 45 viktprocent SiO₂, förhöjda halter av MgO (13 wt %), Co (46 ppm), Cr (693 ppm), Ga (12 ppm), Nb (14 ppm), Ni (188 ppm), Sc (39 ppm), Sr (301 ppm), V (208 ppm) och Zn (47 ppm). Diabasgångar och skarn-järnoxidmineralisering vid Nyhyttan visar anrikning i Co, Cu, Fe, Ga, Nb, S, Sc, Te, och Zn. Grundämnen i morän som kan förknippas med mafiska, ultramafiska och kiselfattiga bergarter är Ag, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Sr, Ti, V och Zn.

Den geografiska utbredningen av geokemiska anomalier i morän (bilaga 1) visar förhöjda elementhalter av Ba, Co, Mn, P, Sn, Sr, Tl och Zr i norra delen av Hälleskogsbrännan. I västra delen, finns högre halter av Ag, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ge, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sc, Th, Ti, Tl, V, Y, Yb, Zn, och Zr. Denna morän är mäktigare än i andra område och sannolikt transporterades från norr (Nyhyttan). I västra Hälleskogsbrännan finns en blandad geokemisk signatur typisk för ett underlag av mafiska bergarter eller sådant som anrikats genom hydrotermala omvandlingar. I södra och sydöstra delar av reservatet finns tydligt anrikning av grundämnen som As, Ca, Co, Cr (SÖ), Cs (SÖ), Cu (SÖ), Fe (SÖ), Ge, Li (SÖ), Mg (SÖ), Mo (SÖ), Nb, Ni (SÖ), Sb, Sc, Se, Ti (SÖ), V (SÖ), och det kan förknippas med metasedimentär berggrund in det sydöstra hörnet av undersökningsområdet.

I undersökningsområdet är pH-värdet i morän ganska lågt, mellan 5,5 och 4,5. Det är välkänt att en del metaller har lätt för att frigöras vid sjunkande pH, liksom att andra grundämnen fastläggs. Kadmium, Co, Mn, Ni, Tl och Zn är exempel på metaller som är lätttrörliga i sur miljö. Generellt sett börjar de mobiliseras när markens pH understiger 6. I områden med höga halter av dessa metaller och låga pH-värden kan man därför befara att grundämnena kan ha börjat lösas ut och att de nått grundvattnet. Det kan ha till följd att dricksvattenkvaliteten i enskilda brunnar påverkas.

Fördelningen av grundämnena visar också påverkan från den kvartära historien. Moränen i ett område kan ha transporterats mer eller mindre långt och kan ha en något annorlunda sammansättning än den underliggande berggrunden (Sohlenius m.fl. 2009). De geokemiska mönstren för olika grundämnen styrs av isrörelseriktningen som i det här området indikeras av N–S-orienterade isräfflor. Tydligast syns detta där ett granitiskt berggrundsområde har en ovanliggande morän med inslag av mafiska intrusiva bergarter och dess kemiska signatur. Moränen har då högre halter av till exempel magnesium, krom och nickel i en region som i övrigt har låg halt av magnesium. Detta, tillsammans med att isen fört med sig såväl gamla jordarter som nybrutet bergartsmaterial och avsatt det som morän, gör att de geokemiska mönstren lokalt kan vara komplexa.

Skogsjord

I undersökningsområdet har prov samlats in från 26 lokaler med skogsjord. Femton skogsjord-prov togs direkt ovanpå moränprov. Den ytligaste horisonten påverkades av skogsbranden, vilket kan ses som lager av aska (fig. 4). Blek horisonten varierar i tjocklek och B-horisonten kan ligga nästan direkt under ett humusrikt lager (O–A-horisont).

Den geografiska fördelningen av geokemiska anomalier i skogsjord (bilaga 1) visar att särskilt höga halter av flera element förekommer i norra delen: Pb, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Ge, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr. Anomalin kan förklaras av närheten till mafiska bergarter och mineralisering i Nyhyttan. Samtidigt bidrar lågt pH till att vittrings- och urlakningsprocesser blir mer intensiva vilket orsakar re-mobilisering av metallhalter. Höga elementhalter av Pb, As, Bi, Cr (SÖ), Cs (SÖ), Fe (SÖ), Li (SÖ), Mg (SÖ), Mo (SÖ), Nb (SÖ), Ni (SÖ), Pb, Sb, Se, Sn, Ti (SÖ), och V (SÖ) finns också i södra Hälleskogsbrännan och de kan där förknippas med metasedimentär berggrund. I östra delen noteras förhöjda halter av Al, B, Be, Ce, Cr, Eu, Fe, Ge, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Sc, Se, Sn, Th, Ti, U, V, Y, Yb, och Zr.

En jämförelse av medianhalter i skogsjord och morän (tabell 1 och 2) visar att Al och Fe anrikas i ytlig horisont medan Ca, Mg, Sr, K, Mn och Na urlakas. Utfällning av oxider och hydroxider av aluminium respektive järn samt nybildad lermineral blir en sänka till olika metaller som Pb, Cd, As, Li, Mo, Nb, Sb och Zn. Sällsynta jordartsmetaller samt yttrium och uran urlakas från ytlig jord och nästan två gånger högre halter noteras i morän.

En jämförelse av förekomsten av tolv grundämnena i skogsjord (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, U, V, W och Zn) med biogeokemi i vattenväxter från tidigare kartering (bilaga 2) visar att förhöjda halter är ofta kopplade till lågt pH. För As, Co, Ni och Zn finns liknande spridning i båda provtyperna. Samtidigt avviker de geokemiska mönstren för flera andra grundämnena: Cd, Cr, Cu, Mo, Se, U, V och W. Orsaken till att samband saknas mellan skogsjord och vattenväxters geokemi är svårt att förklara. Det verkar som att bäckvattenväxters geokemi visar stor variation beroende på topografin. Vattendrag i större dalar med tjockare leriga sediment verkar ha högre metallhalter än små bäckar som rinner genom områden med tunnare jordtäck och med berghällar.

SUMMARY

For more than 30 years, the main goal of the geochemical mapping programme at SGU has been to provide high quality, consistently sampled and analysed data. The objective of the programme is to quantify regional geochemical variations in the surficial environment in order to provide data for mineral exploration, the mining industry, planning purposes, environmental research, agriculture, forestry, veterinary and human medical research (medical geology).

The commonly used sampling media are till, sediment, soil, water, moss, and water plants. The routine sampling density is 1 sample per 7 km². Till samples are commonly collected from the C-horizon in hand-dug pits, usually at a depth of 0.7–1.0 m. Sediments are collected with a hand driven drill at 1.0 m depth. Surface soil samples are hand-dug from the upper horizon (O to A, and B) at variable depth, depending on the project aim and horizon development. After vacuum-drying, the samples are sieved stepwise to <0.063 mm and analysed for major, minor and trace elements at the SGU laboratory. Partial leaching in Aqua Regia (a mixture of HCl and HNO₃) or nitric acid (7M HNO₃) followed by ICP-MS analysis is used. Till pH is determined in a suspended solution composed of a 4 g sample (<0.063 mm) and 20 ml distilled water. A quality control programme is used to monitor the sampling and analytical variance. Additional details regarding the geochemical mapping programmes at SGU are available in Lax & Selinus (2005), Andersson et al. (2014) and Morris et al. (2020).

A total of 15 samples of till and 26 samples of forest soil were collected for this study in Hälleskogsbrännan natural reserve in Västmanland County in 2018. The till and forest soil samples were prepared according to the SGU standard method and analysed by ICP MS after the nitric acid leaching for the following elements: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, and Zr. pH measurements were obtained on sieved samples (<0.063 mm) in the laboratory conditions.

Hälleskogsbrännan natural reserve was established in 2015 after a big forest fire. The reason for establishing it was to monitor the recovering of the forest ecosystem including the vegetation, animal life (e.g., insects, birds, mammals), water systems, etc. It turned out that the forest recovers very quickly after the damage caused by the fire. The ashes provide additional nutrients, and some animals and plants thrive well in a post-fire environment.

The studied area belongs to the central part of Bergslagen. The entire sampling area lies below the highest coastline (HK), which means that glacial deposits, such as bottom till, show reworking by meltwater and later sea-wave activity. The area was ice free from about 11 000 years ago and the main ice direction was north–south. The Quaternary deposits are represented mainly by sandy-silty till. The thickness of till increases towards west and northwest. Areas rich in boulders are common and often surround small mires and peatbogs located in bedrock depressions. Fine-grained sediments are rare, and they occur mainly along small water courses. Bedrock outcrops are common, they build the main topographical features of the reserve with its hilly landscape.

Bedrock in Hälleskogsbrännan is dominated by late Paleoproterozoic intrusive rocks, older granodiorite-granite types (GDG) and younger granites and pegmatites (GP; Stephens et al., 2009.). In the southeastern part, a belt of metasedimentary rocks (metasandstones and metagreywacke) marks the change in lithology. In the north of Hälleskogsbrännan and north of the reserve borders, mafic bodies of metagabbro-diorite and metavolcanic rocks (rhyolite and dacite) occur at the surface. The majority of the bedrock has been affected by high temperature and low pressure metamorphism.

The chemical composition of till largely depends on the primary bedrock mineral and chemical composition. Bedrock in the study area is dominated by granitic rocks, often intruded by pegmatites. Elevated concentrations of Al, Au, Ba, Be, Bi, Cd, K, La, Nb, Rb, Sb, Sn, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, W and Yb in till can be explained by granitic source rocks. The chemical composition of local bedrock can then be used in interpretation of the parent material. The GP granite (younger GP 1.83-1.75 Ga), west of Hälleskogsbrännan (at Gammelby) has high concentrations of Ba (1460 ppm), Ce (226 ppm), Ga (15 ppm), Nb (24 ppm), Rb (110 ppm), Sc (12 ppm), Sr (386 ppm), Th (25 ppm), U (4,6 ppm), Y (22 ppm) and Zr (383 ppm). GP granite (younger GP 1.83–1.75 Ga) from Axholm (east of reserve) shows enrichments in Ba (871 ppm), Ce (253 ppm), Nb (20 ppm), Rb (190 ppm), Sr (112 ppm), Th (25 ppm), U (12 ppm), Y (34 ppm) and Zr (305 ppm). South of the reserve, gneissic granodiorite (older GDG, 1.96-1.87 Ga) has high concentrations of Ba (1200 ppm), Cu (27 ppm), Ga (17 ppm), Rb (97 ppm), Sr (364 ppm), Y (16 ppm), and Zn (54 ppm).

Mafic rocks and iron skarn mineralisation occur north of Hälleskogsbrännan at Nyhyttan (the abandoned Spikgruvan mine). Mafic intrusive rocks have low silica concentrations, around 45 weight % SiO₂, and medium to high concentrations of MgO (13 wt %), Co (46 ppm), Cr (693 ppm), Ga (12 ppm), Nb (14 ppm), Ni (188 ppm), Sc (39 ppm), Sr (301 ppm), V (208 ppm) and Zn (47 ppm). Diabase dykes and iron skarn at Nyhyttan show enrichments in Co, Cu, Fe, Ga, Nb, S, Sc, Te, and Zn. Typical elements in till which can be related to mafic and ultramafic parent materials are Ag, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Sr, Ti, V and Zn.

Geographical distribution of element anomalies in till in Hälleskogsbrännan (bilaga 1) shows high concentrations of Ba, Co, Mn, P, Sn, Sr, Tl and Zr in the northern part, and Ag, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ge, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sc, Th, Ti, Tl, V, Y, Yb, Zn, and Zr in the western part of the nature reserve. Thicker till deposits in the west can explain higher base-metal contents which could originate from mafic lithologies and iron mineralization located northward. In the western part, a mixture of geochemical signatures from mafic source rocks and hydrothermally altered rocks can be observed. In the southern part of the reserve, clear enrichments in As, Ca, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ge, Li, Mg, Mo, Nb, Ni, Sb, Sc, Se, Ti, and V can be observed, potentially explained by the presence of outcrops of metasedimentary rocks and unexposed smaller bodies of mafic intrusions.

Element concentrations and their spatial distribution can also be influenced by the Quaternary history of the till. The sampled till could have been transported from far away and as a result can have a different composition from that of the underlying bedrock. A granitic bedrock area can, for example as in the western part of Hälleskogsbrännan, be overlain by a till with an element assemblage typical of mafic intrusive rocks (which occur north of the reserve). Such till tends to have elevated levels of magnesium, nickel and chromium in a region with otherwise geochemical signature typical of granitic source rocks. These geochemical element patterns largely result from N–S ice flow direction, which can be deduced from the glacial striations observed on the surface of bedrock outcrops.

The geochemistry of forest soil seems to be largely unaffected by the recent forest fire.

Geographical distribution of element anomalies shows only a slightly different pattern than that for till. The highest element concentrations for Pb, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Ge, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, and Zr are found in the north. Most likely, these high concentrations can be explained by the nearby outcropping mafic rocks and located further north, the iron skarn mineralisation at Nyhyttan. High contents of Pb, As, B, Bi, Cr, Cs, Fe, Li, Mg, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V in the southern part of Hälleskogsbrännan are related to underlying metasedimentary bedrock and unexposed smaller mafic intrusions. In the eastern part of the reserve, elevated concentrations of Al, B, Be, Ce, Cr, Eu, Fe, Ge, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Sc, Se, Sn, Th, Ti, U, V, Y, Yb and Zr are observed.

Comparison of median values in forest soil and till (tabell 1 and 2) shows that aluminum and iron are enriched (retained) in the surface horizon while Ca, Mg, Sr, K, Mn and Na are leached out of this layer. Precipitation of aluminum and iron oxides and hydroxides, as well as formation of clay minerals, can be a sink for various metals such as Pb, Cd, As, Li, Mo, Nb, Sb and Zn. Rare earth elements (REEs) together with yttrium and uranium can easily be leached down the profile and their concentrations in the till are two times higher than that in the forest soil.

Comparison of twelve elements in forest soil (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, U, V, W och Zn) with raster maps of respective elements obtained from the roots of water plants (bilaga 2) implies that elevated concentrations of elements correlate with areas with low pH for both sample types. The spatial pattern for As, Co, Ni, and Zn is to some degree similar in forest soil and water plants. For many other elements, however, there is no overlap in spatial distribution, e.g., for Cd, Cr, Cu, Mo, Se, U, V and W, which is difficult to explain. It appears that the chemistry of water plants shows wide variation, and it is additionally more influenced by the landscape and local topography than chemistry of forest soil. Plants from water courses in valleys with fine-grained silty to clayey sediments have clearly higher metal concentrations than those in landscapes with rocky outcrops and thin soil cover.

The pH in soils in the studied region is quite low, between 5.5 and 4.5. With such low pH values, the leaching of metals can be more active, and, for example, Cd, Co, Mn, Ni, Tl and Zn, are more mobile under low pH conditions. The mobilized elements are usually transported away into the groundwater reservoir.

Till and soil geochemistry in Hälleskogsbrännan nature reserve is strongly influenced by local bedrock geochemistry, mineralization, the character of the ice movement which deposited the till, with superimposed processes that occurred during deglaciation, including water reworking.

The current geochemical mapping of Hälleskogsbrännan nature reserve contributes to the general knowledge about the chemical condition of the reserve and can be used in both environmental evaluations and research investigations.

REFERENSER

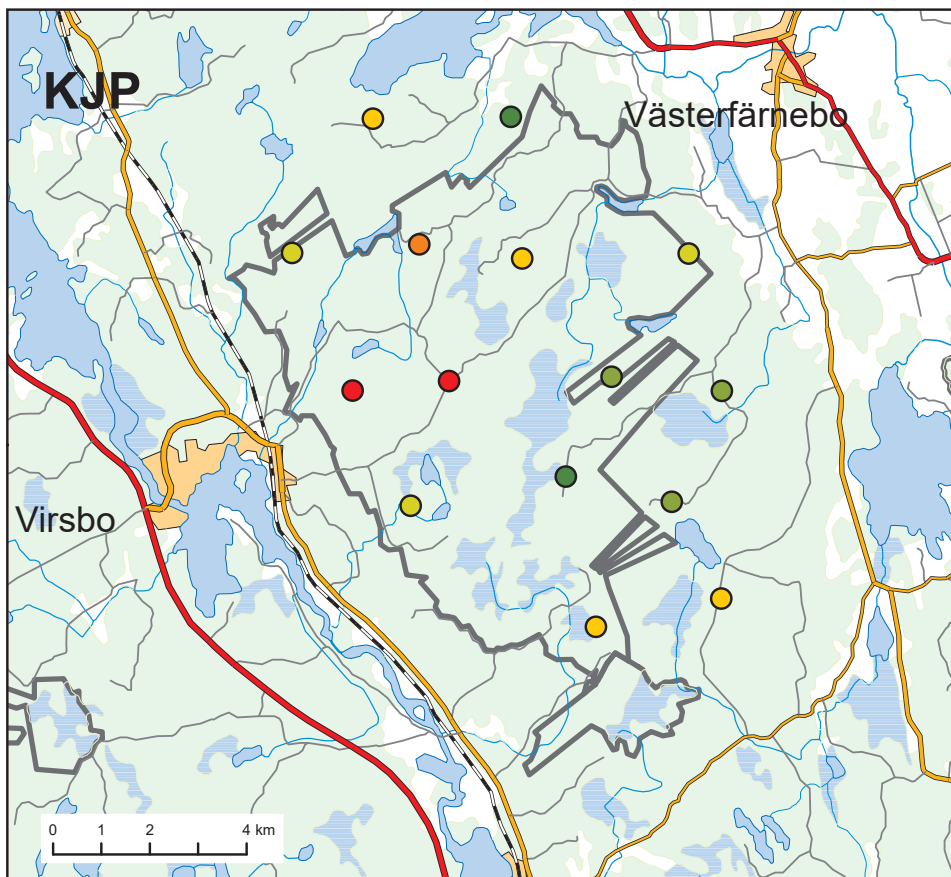
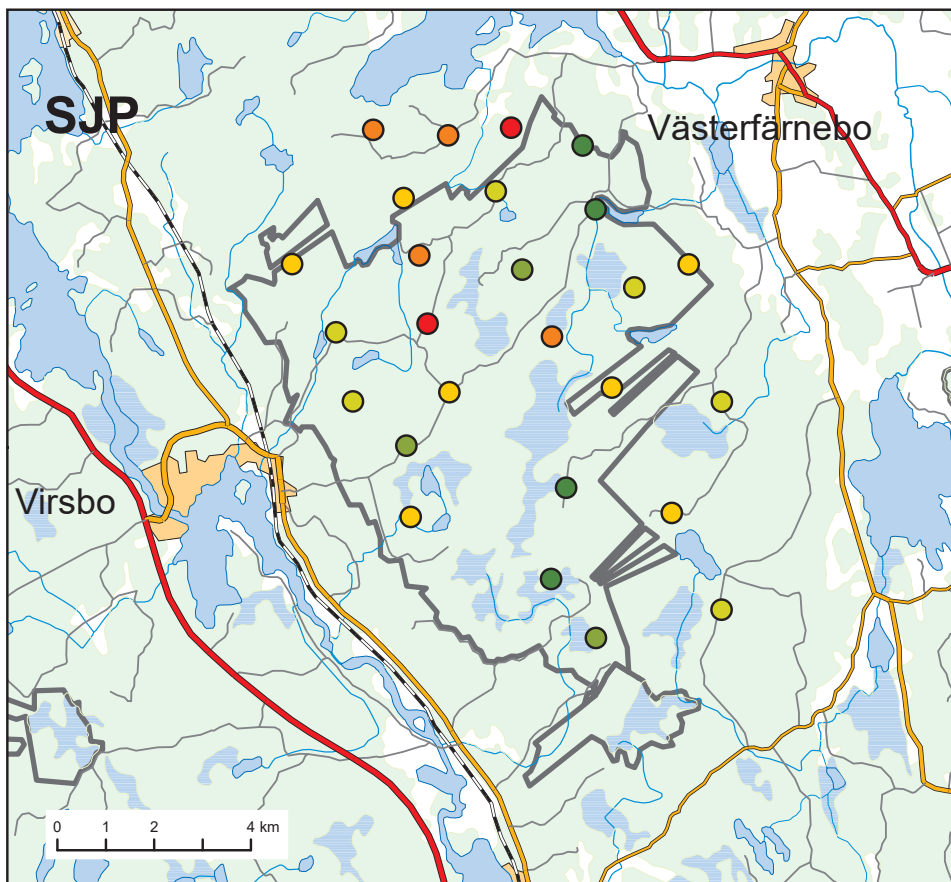
- Andersson, M., Carlsson, M., Ladenberger, A., Morris, G., Sadeghi, M. & Uhlbäck, J., 2014: *Geokemisk atlas över Sverige*. Sveriges geologiska undersökning, ISBN 978-91-7403-258-1, 208 s.
- Lax, K. & Selinus, O., 2005: Geochemical mapping at the Geological Survey of Sweden. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 5, 337–346.
- Morris, G., Ladenberger, A., Snöälvs, J. & Larsson, N., 2020: Geokemisk analys av morän genom uppslutning med salpetersyra (HNO₃). *SGU-rapport 2020:15*, Sveriges geologiska undersökning, 12 s.
- Snäll, S. & Ek, J., 2000: Moräners mineralogi och kemi över vissa bergartstyper i Sverige. *Rapporter och meddelanden 104*, Sveriges geologiska undersökning, 166 s.
- Sohlenius, G., Lax, K. & Ladenberger, A., 2009: Kan SGUs data användas för att uppskatta moränens transportlängd? *SGU-rapport 2009:26*, Sveriges geologiska undersökning, 25 s.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58*, 259 s.
- Wastenson, L. & Fredén, C. (red), 1994: *Sveriges Nationalatlas, Berg och Jord*. SNA, 208 s.

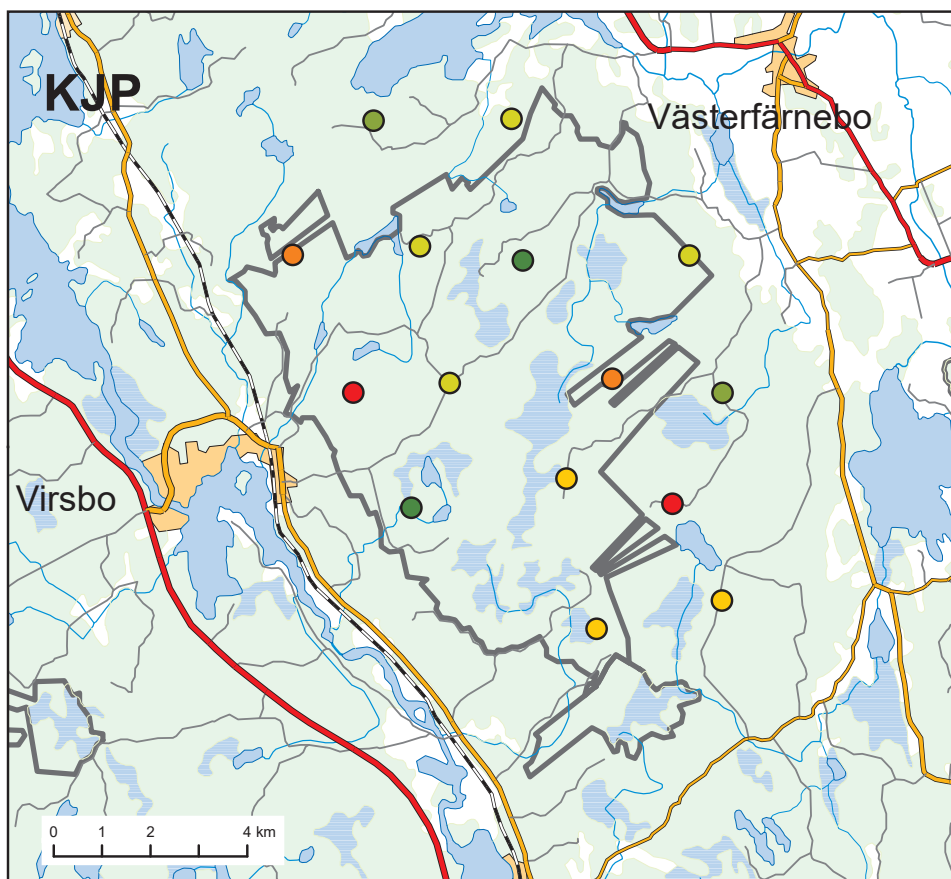
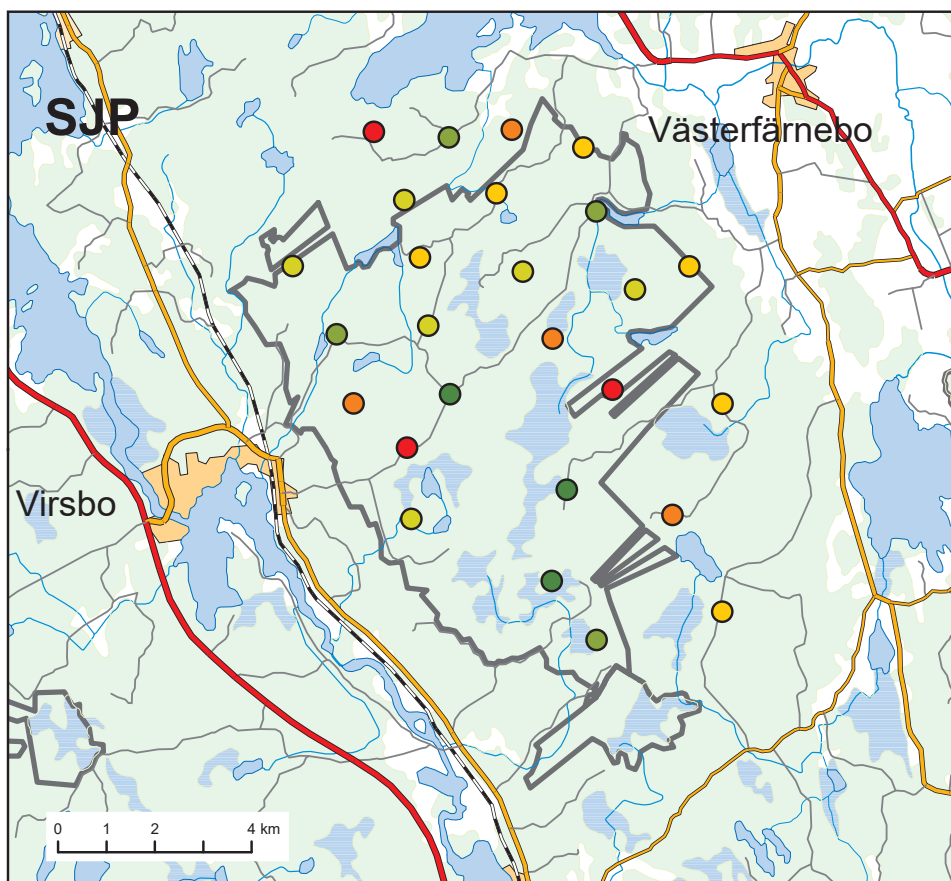
BILAGA 1. GEOKEMISKA KARTOR ÖVER MORÄN OCH SKOGSJORD I HÄLLESKOGSBRÄNNANS NATURRESERVAT

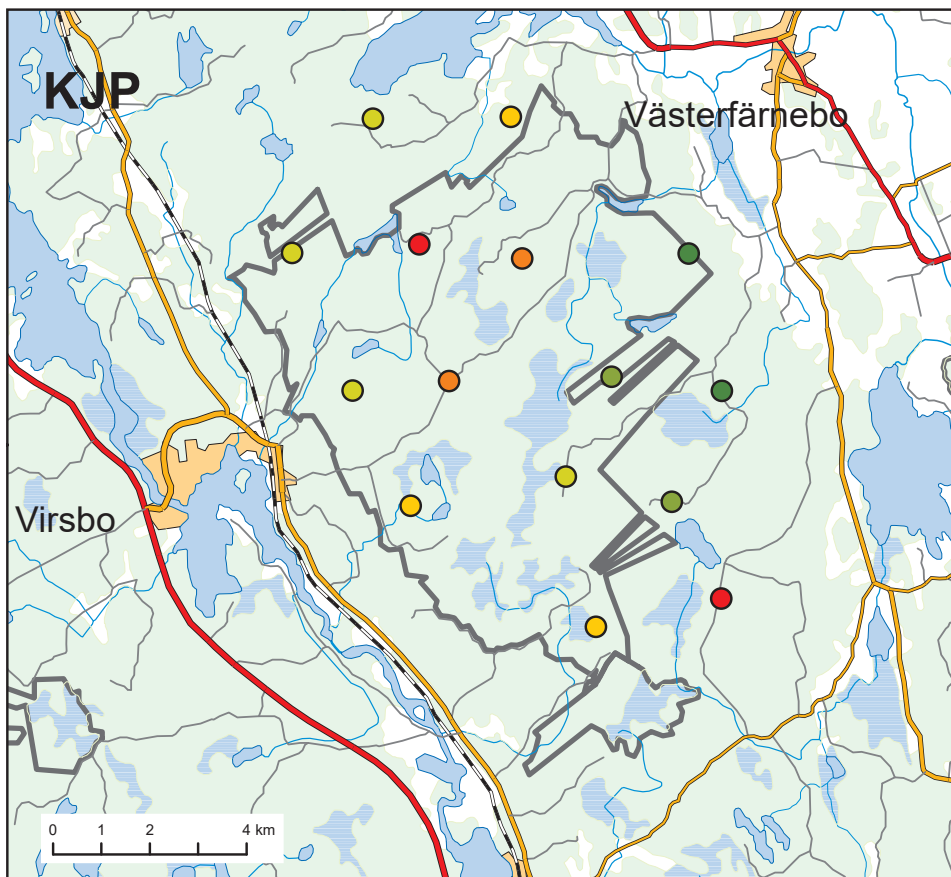
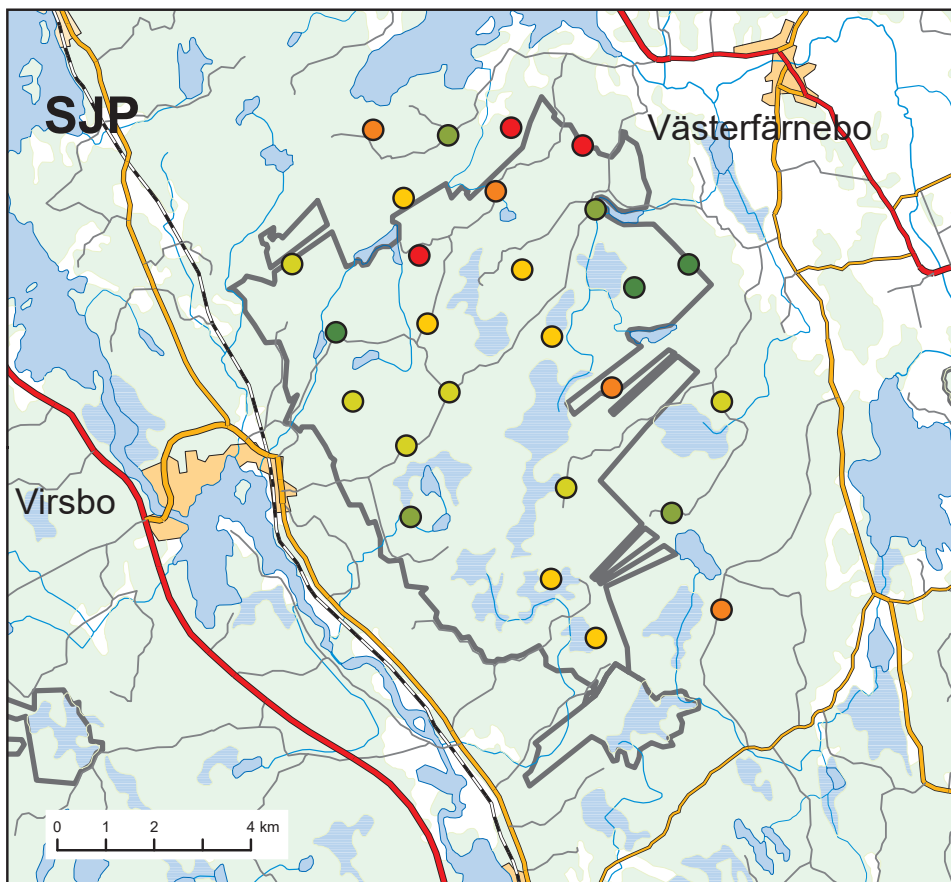
Geochemical maps of till and forest soil in Hälleskogsbrännan nature reserve

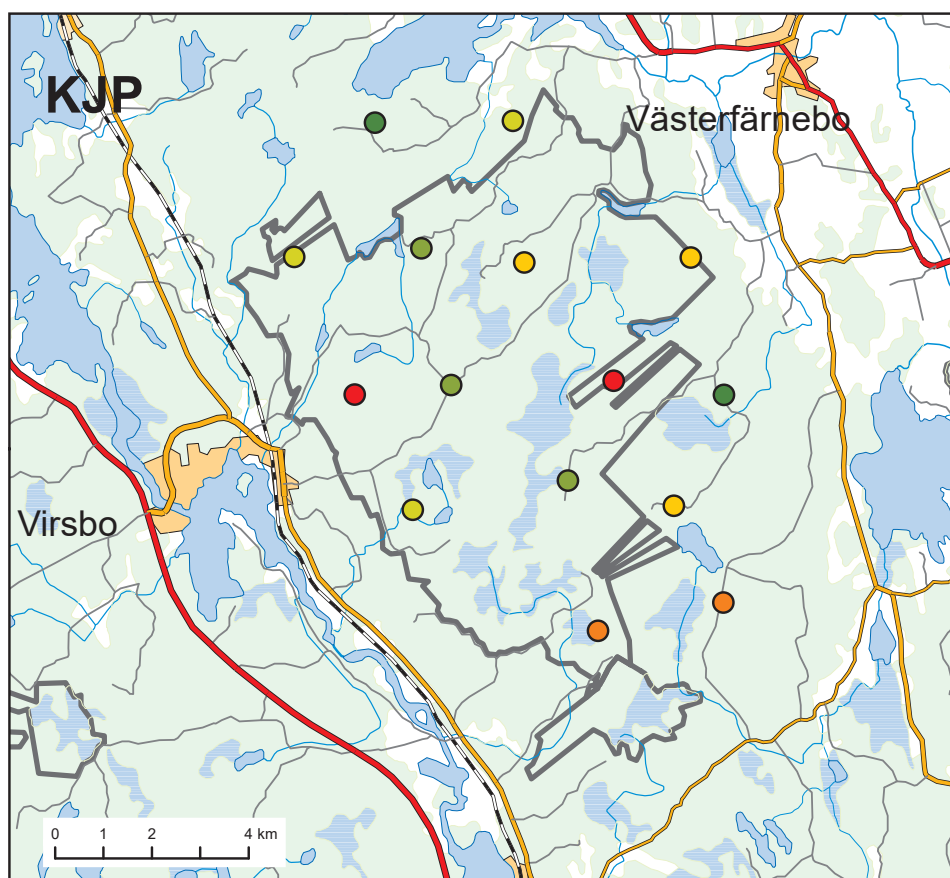
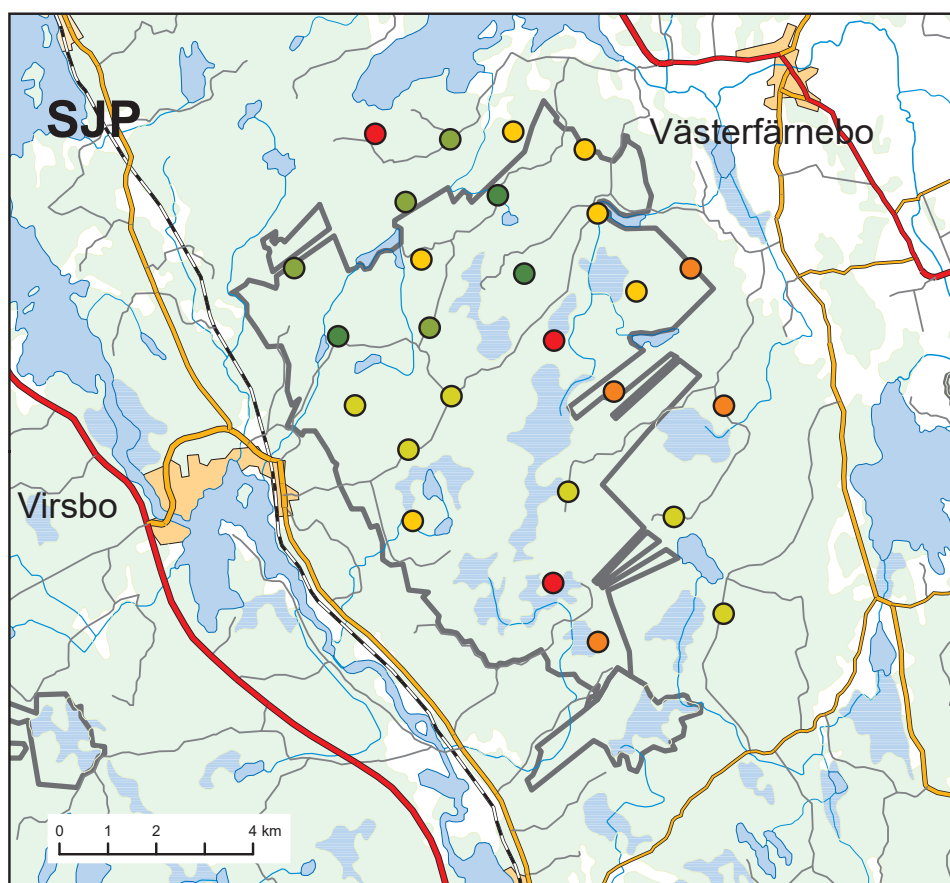
Bilagan omfattar kartor över förekomst av huvud- och spårelement samt pH i skogsjord (48 kartor, SJP) och morän (48 kartor, KJP) provtagna enligt SGU:s regionala markgeokemiska metod. Klassuppdelning baseras på 10:e, 25:e, 50:e, 75:e och 90:e percentilen.

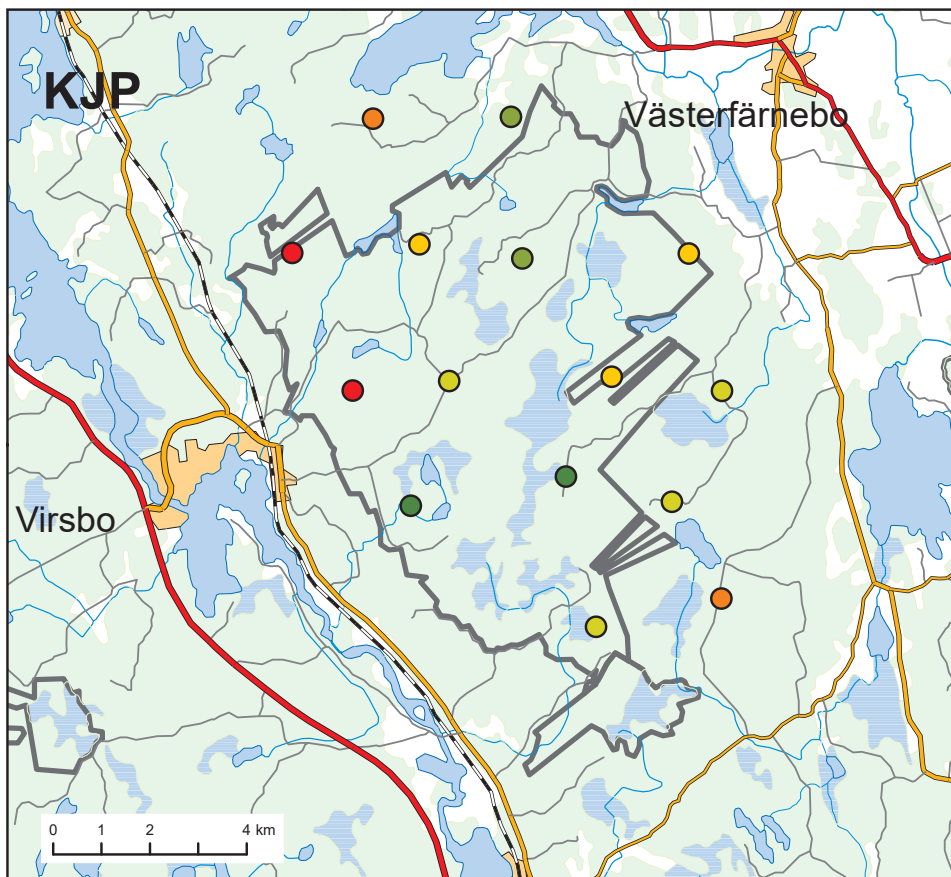
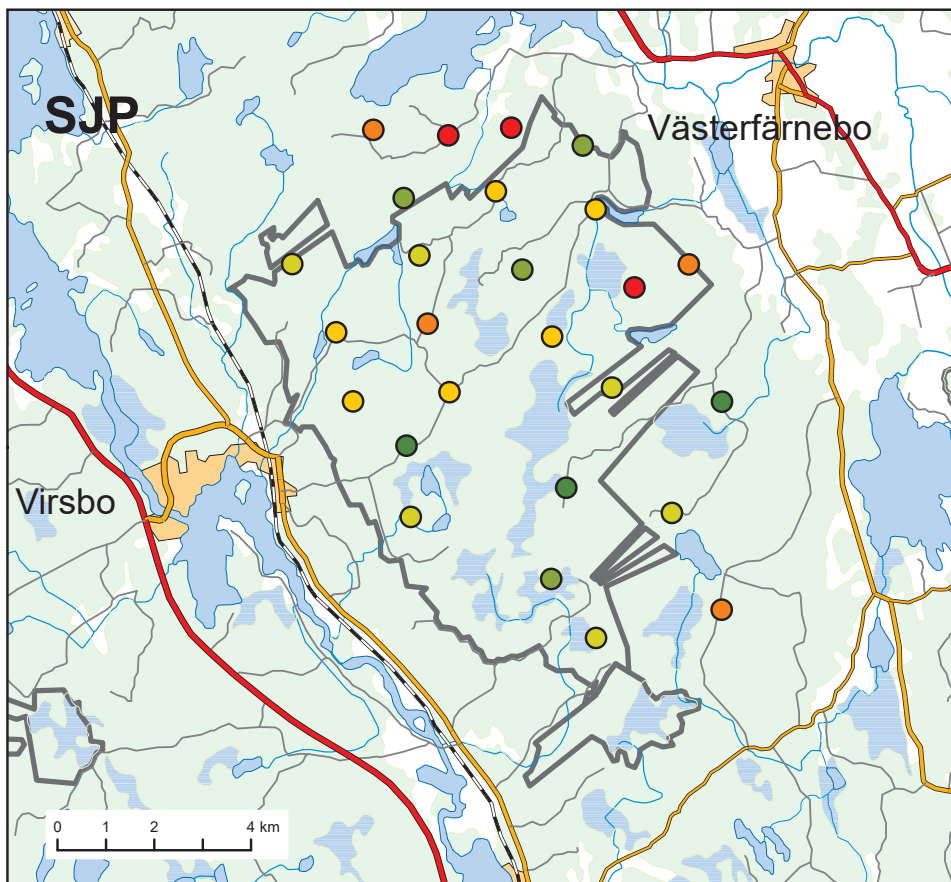
Baserade på analysresultatet för morän, efter lakning med 7M salpetersyra, presenteras kartor över Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Eu, Fe, Ge, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr.

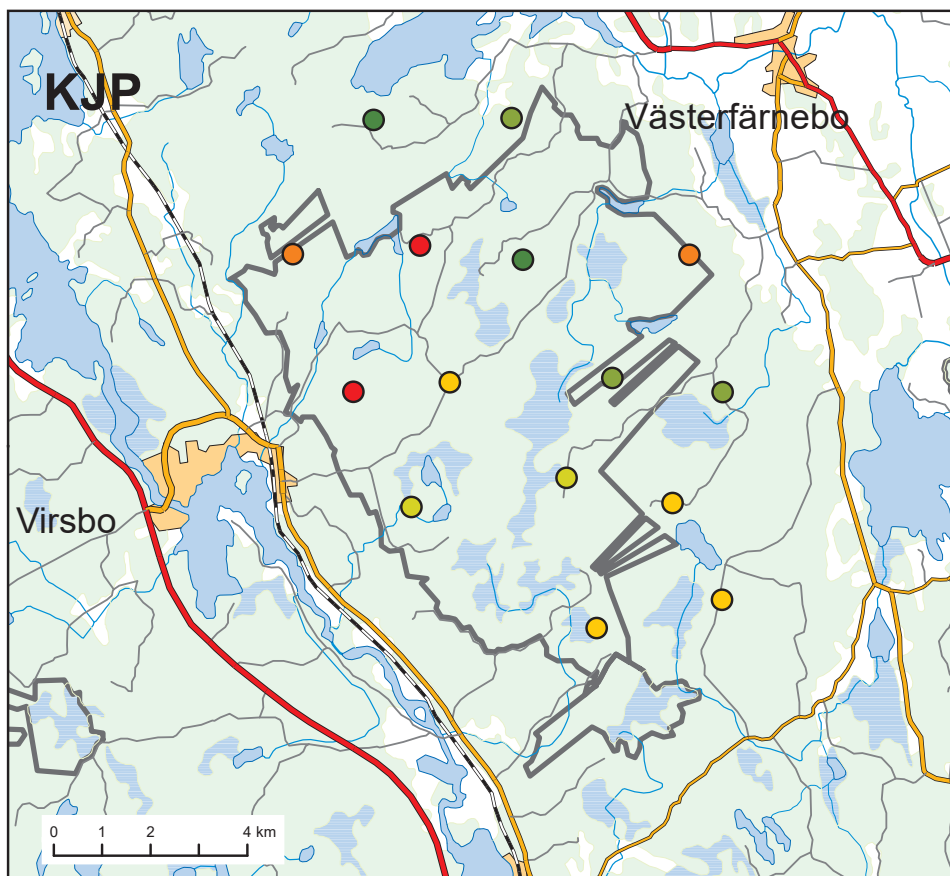
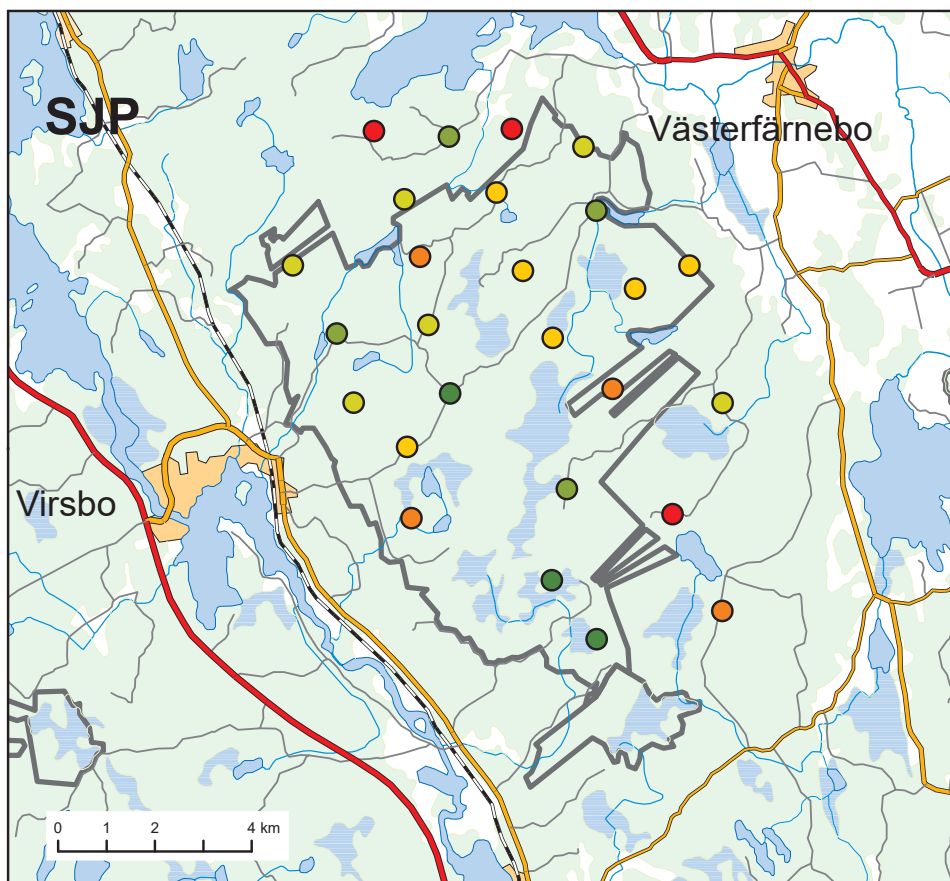


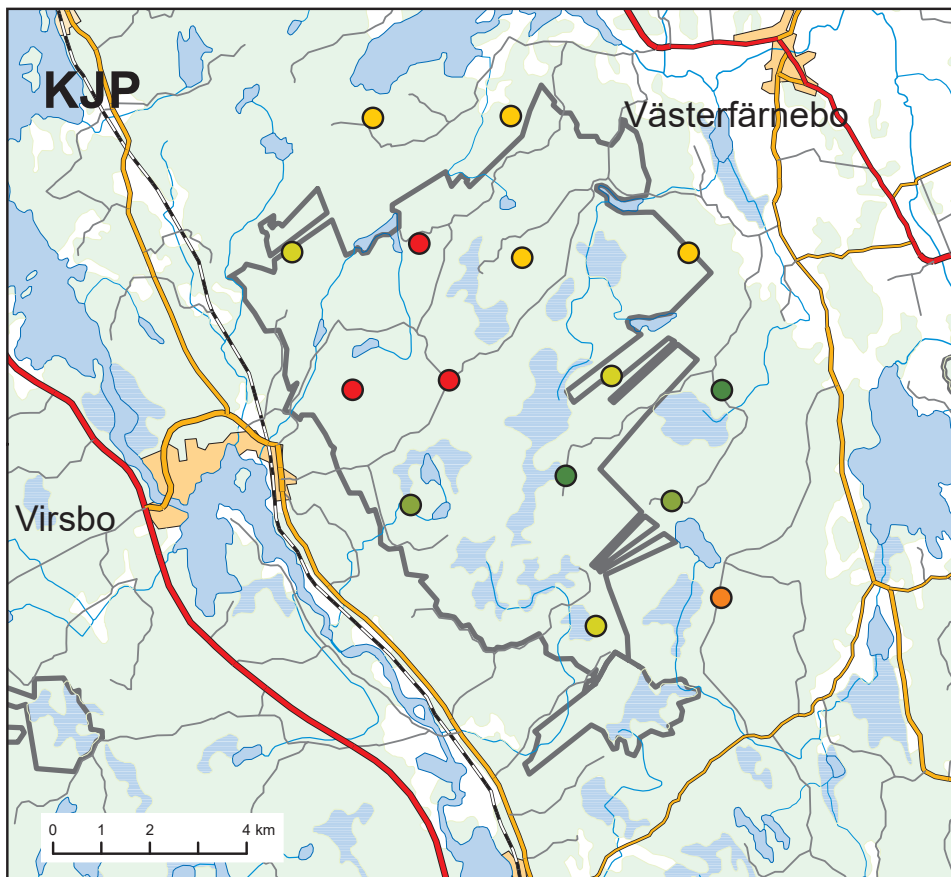
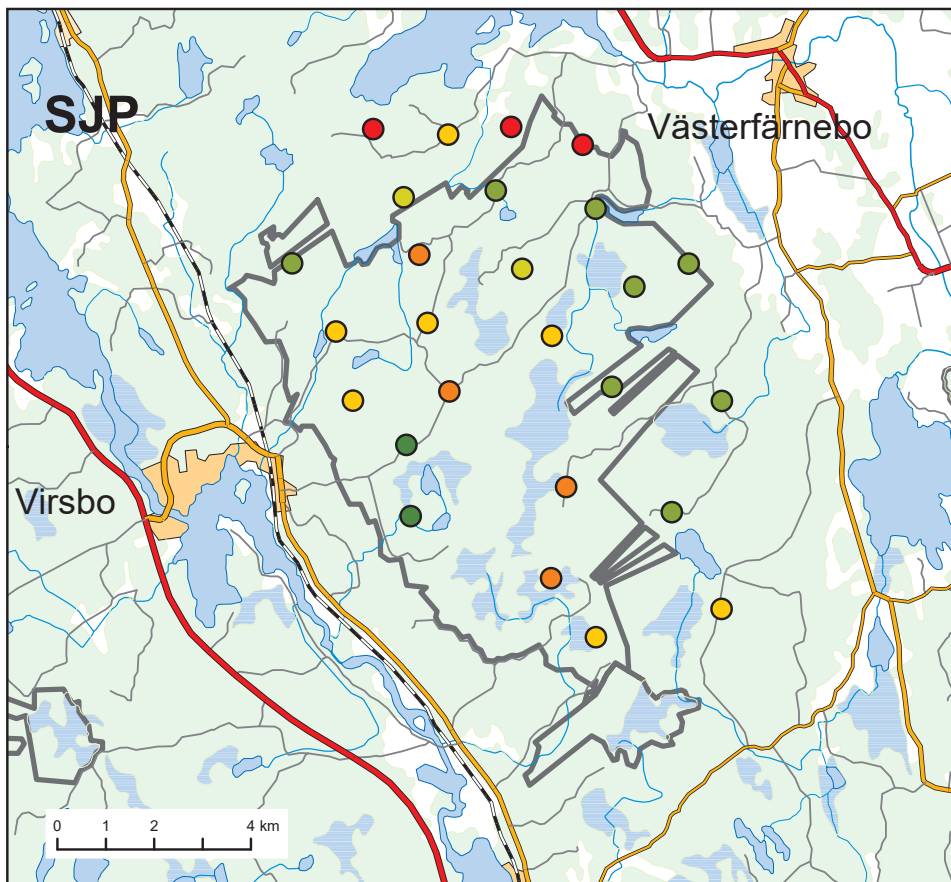


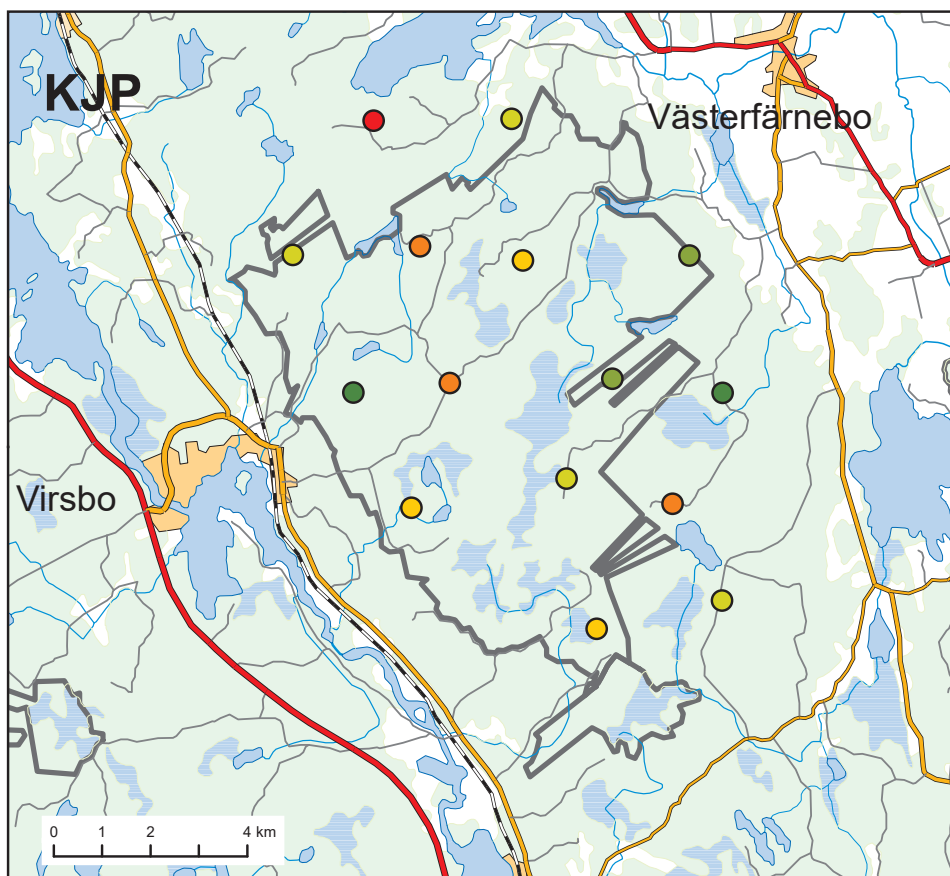
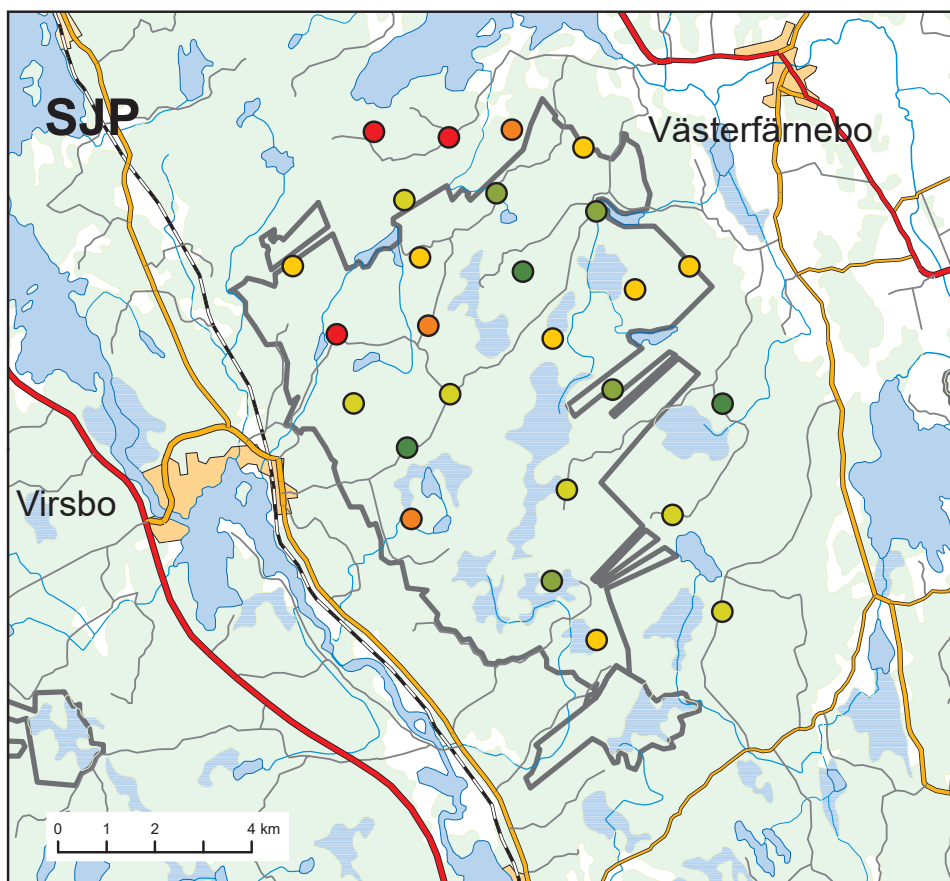


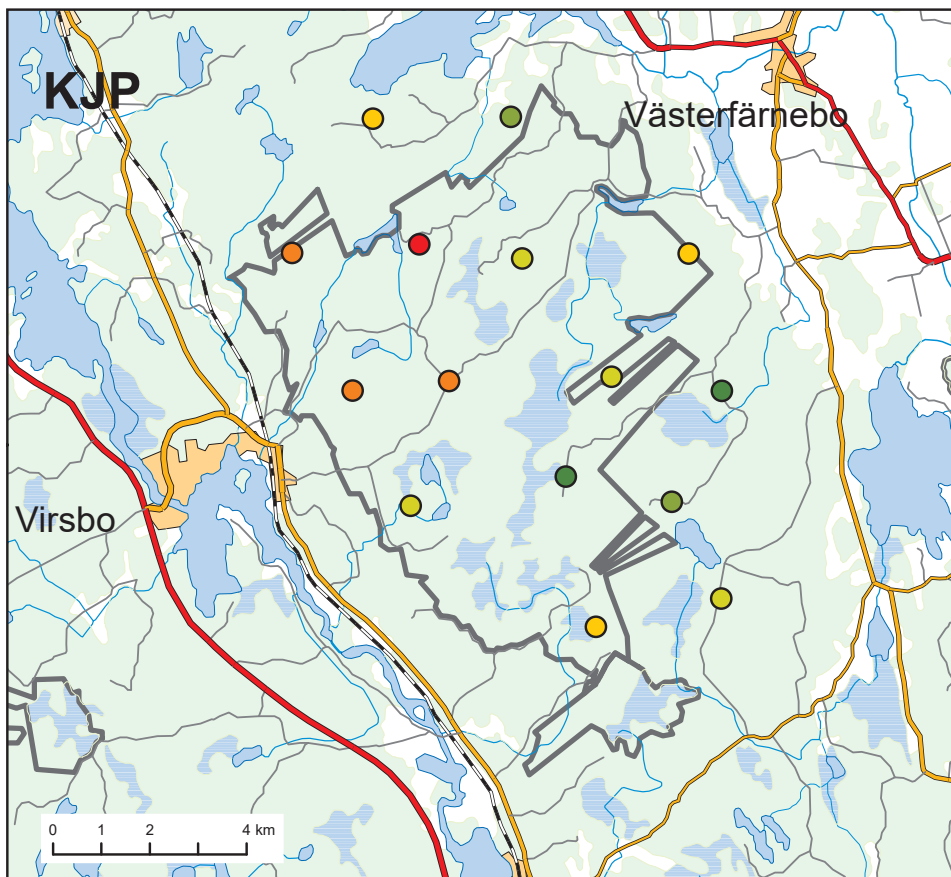
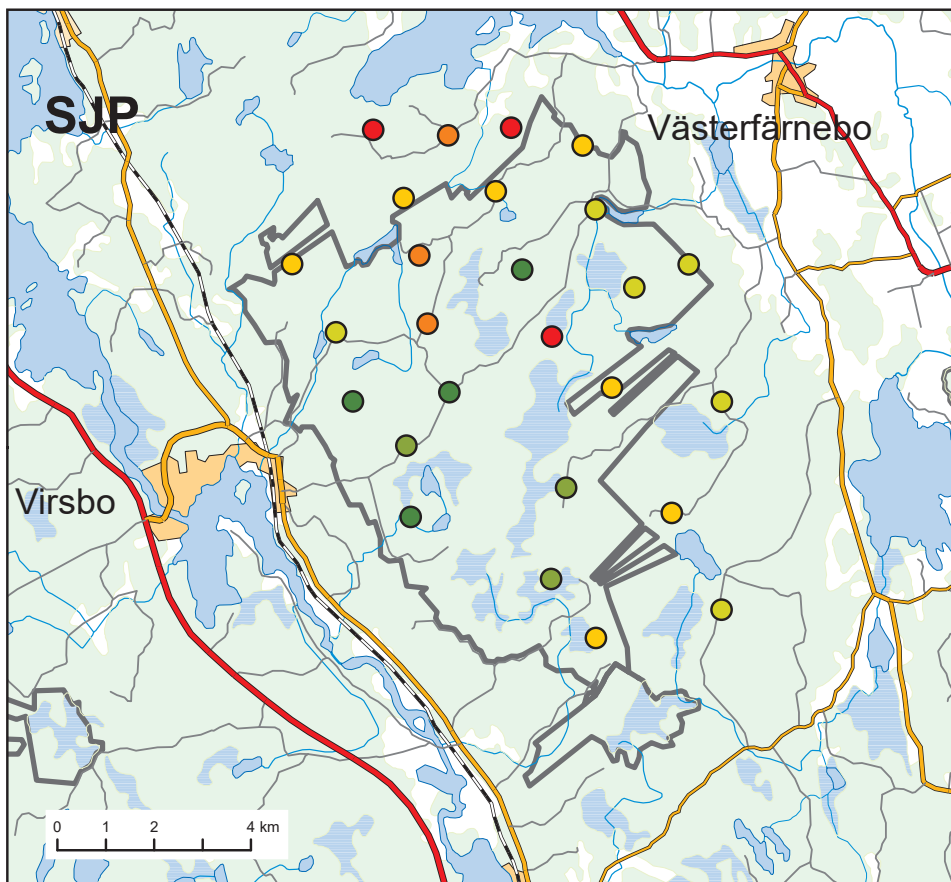


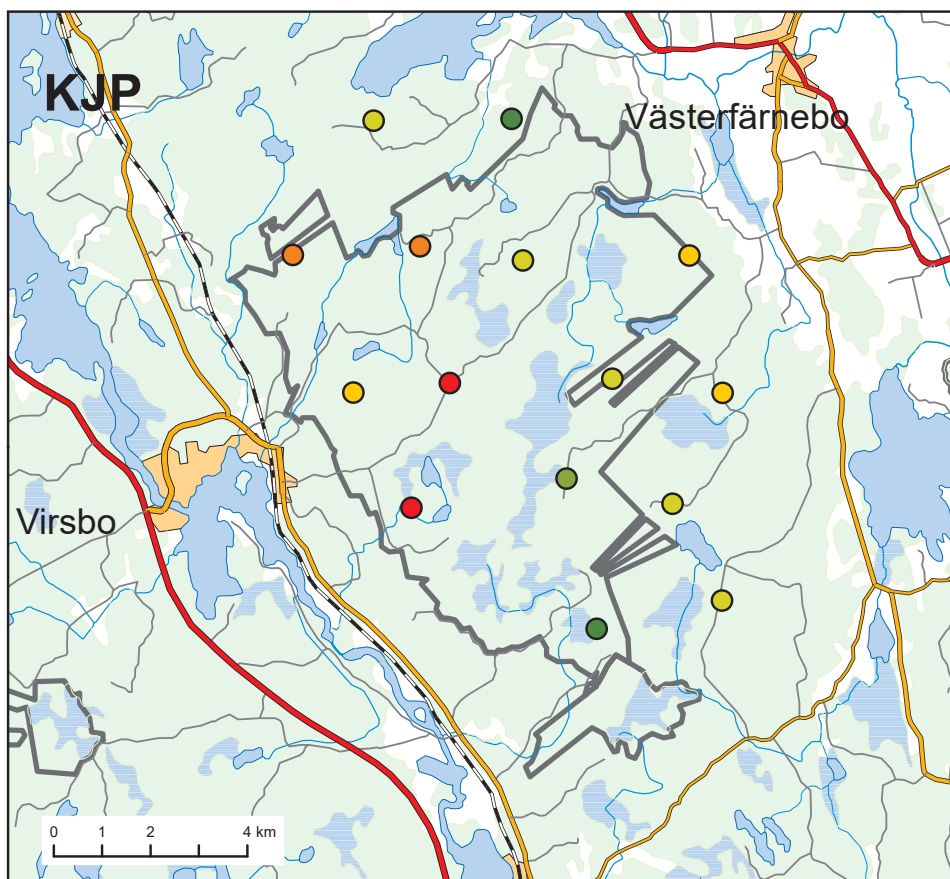
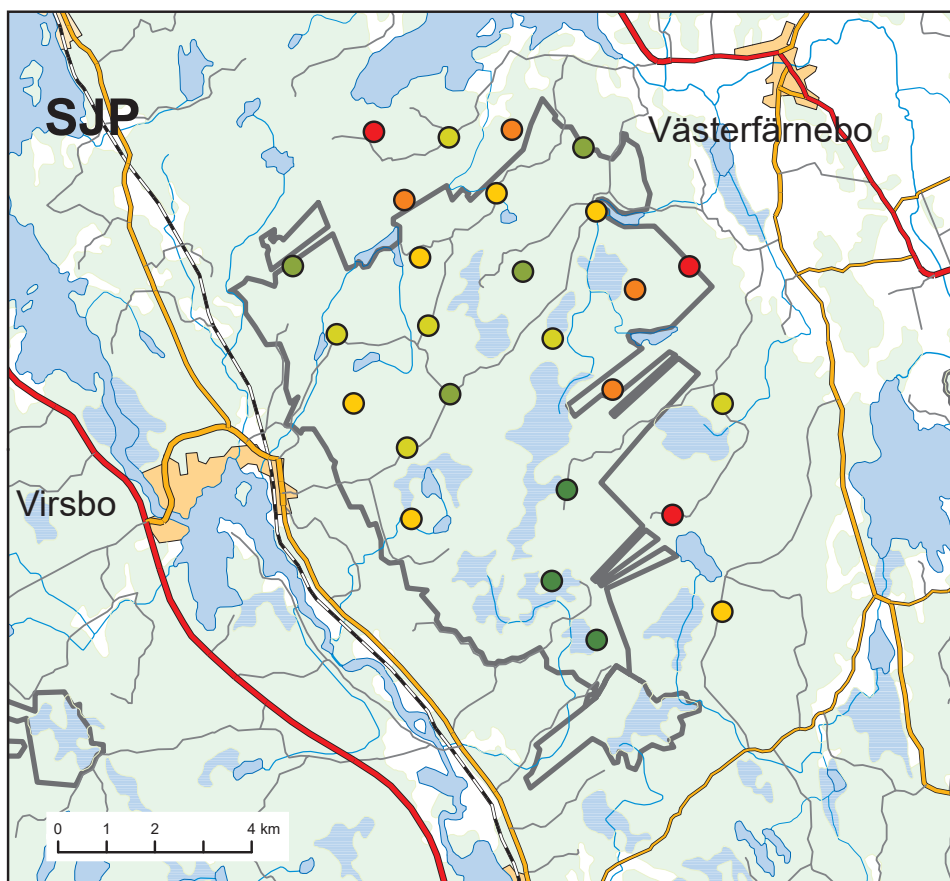


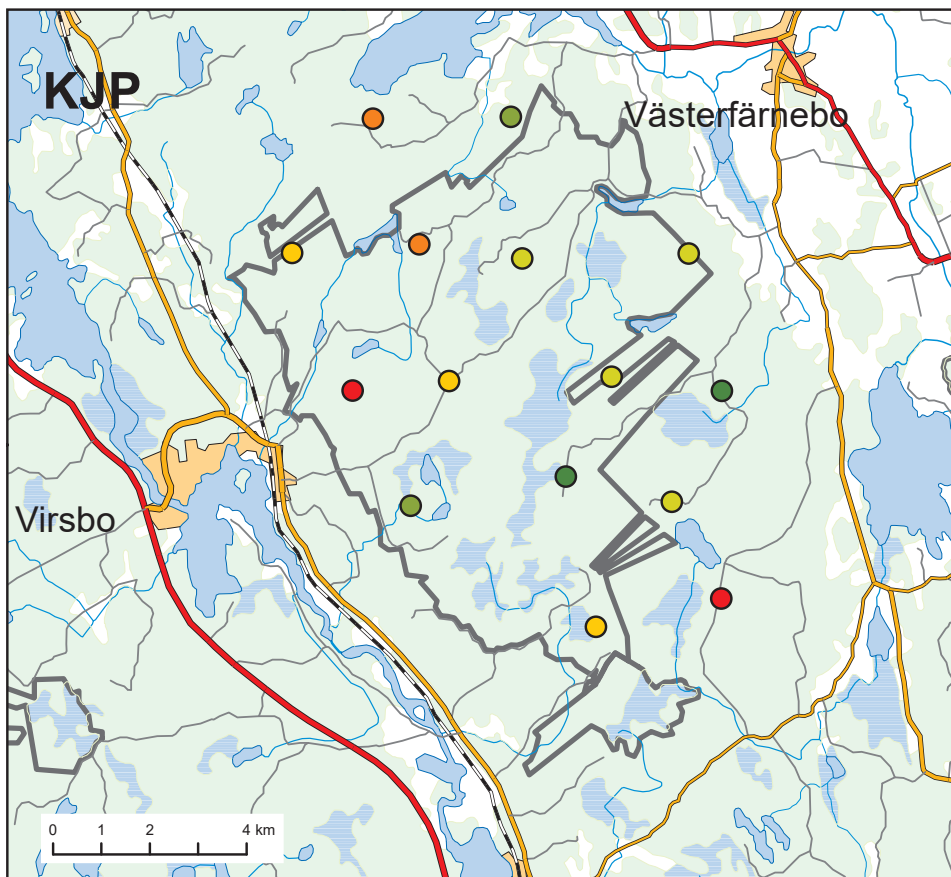
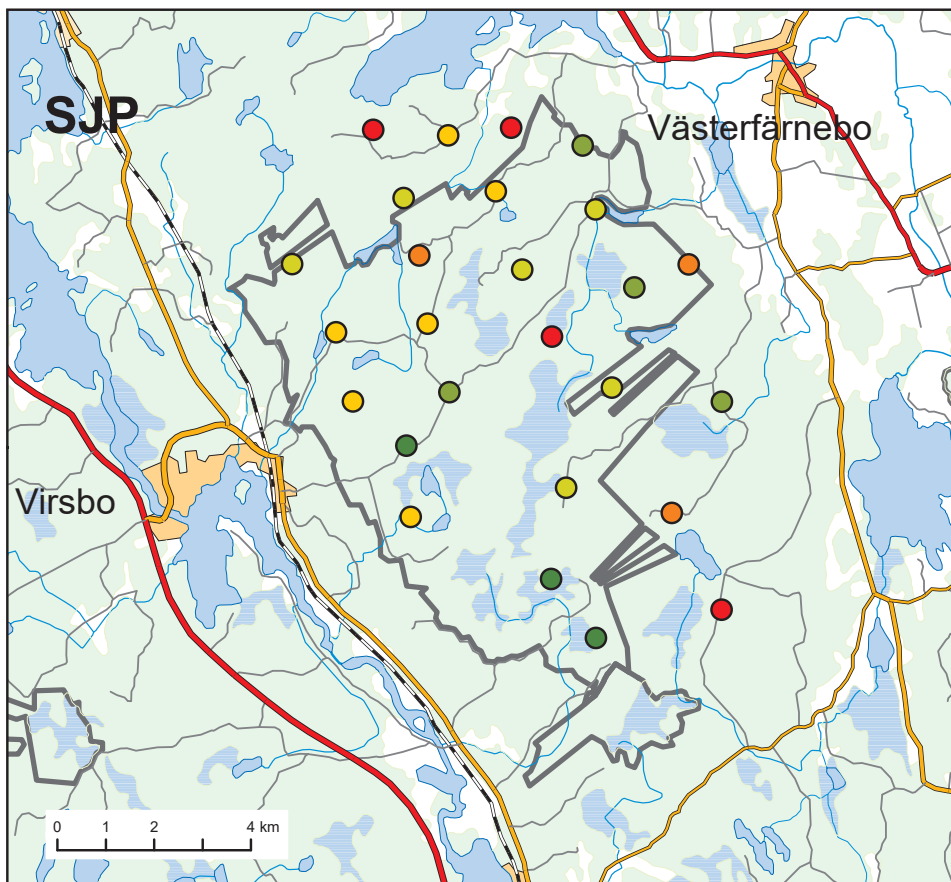


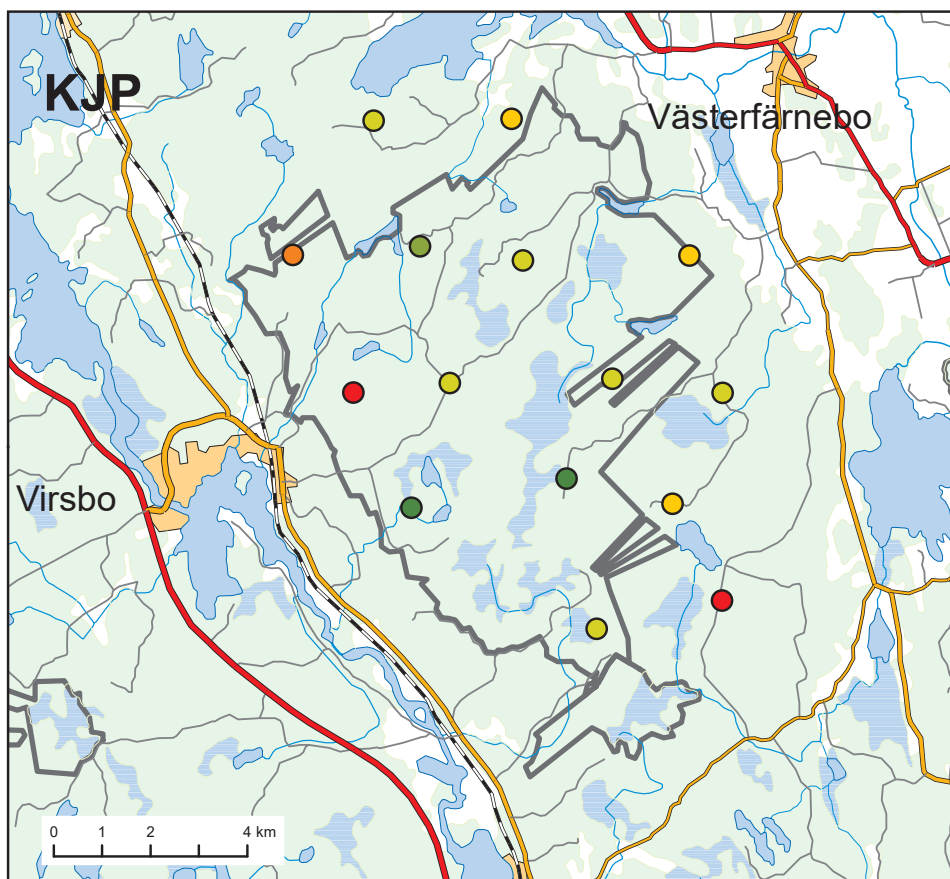
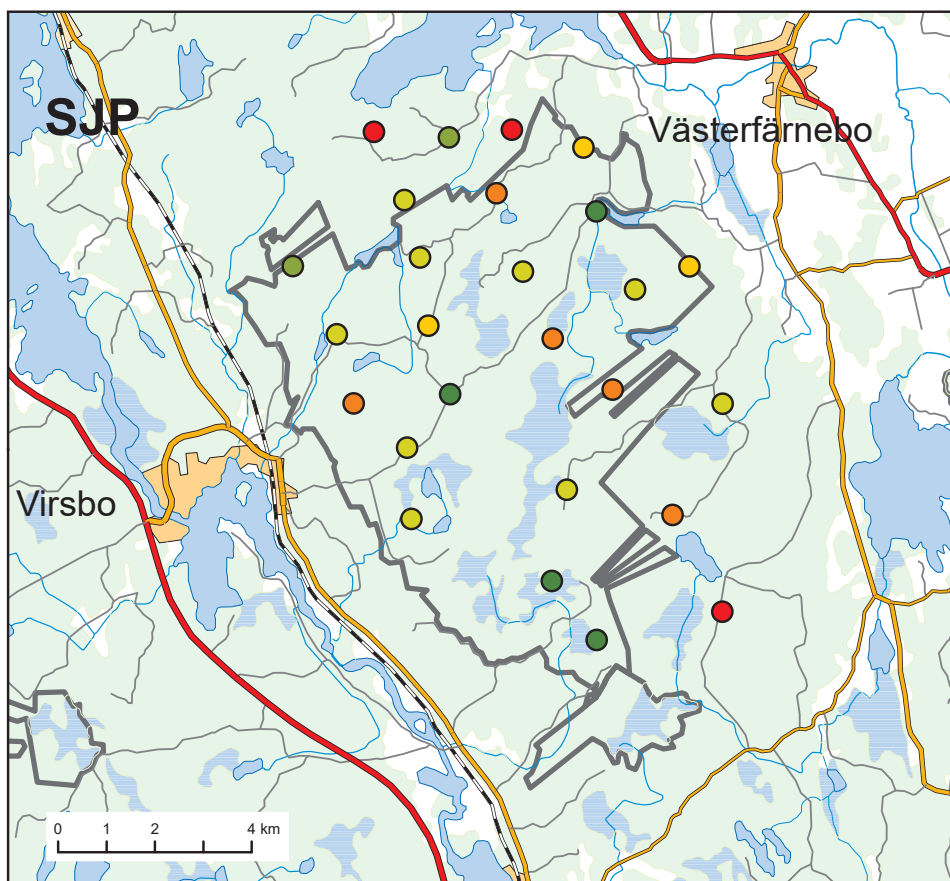


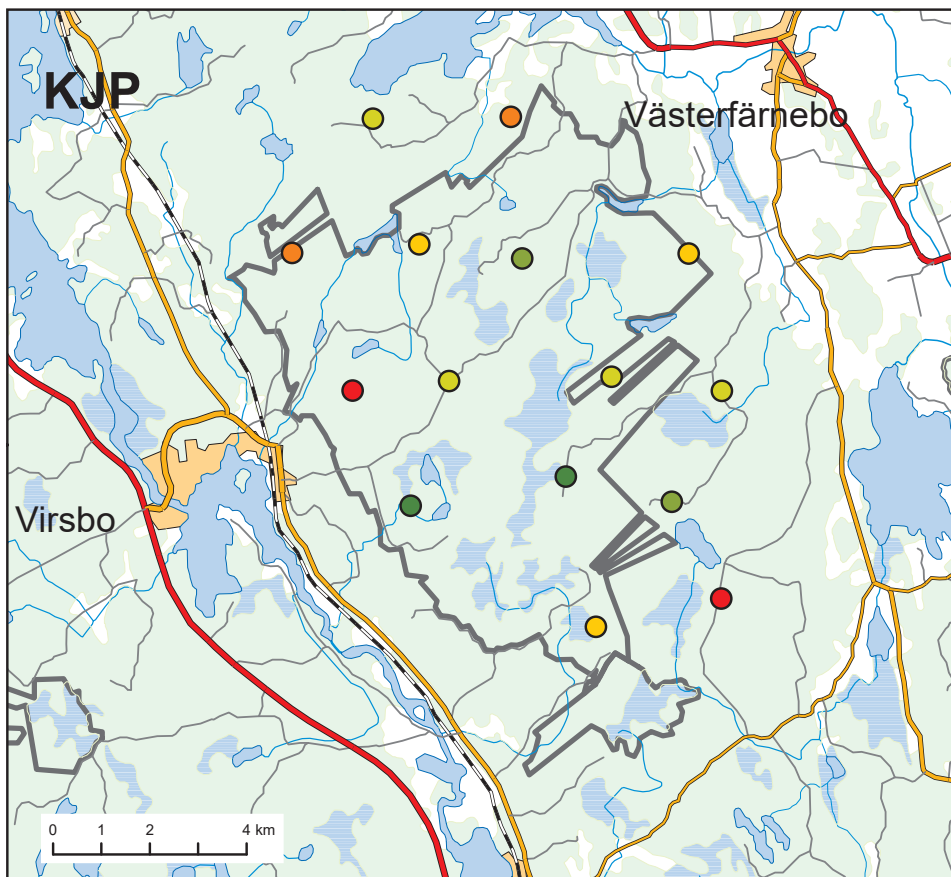
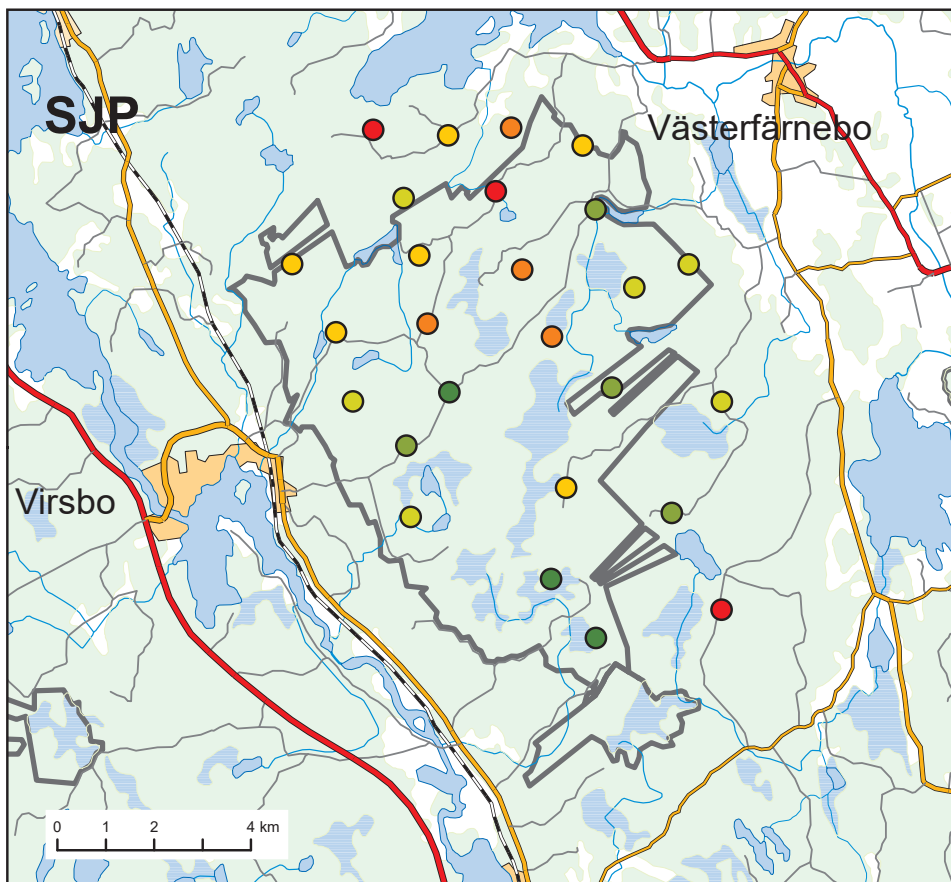


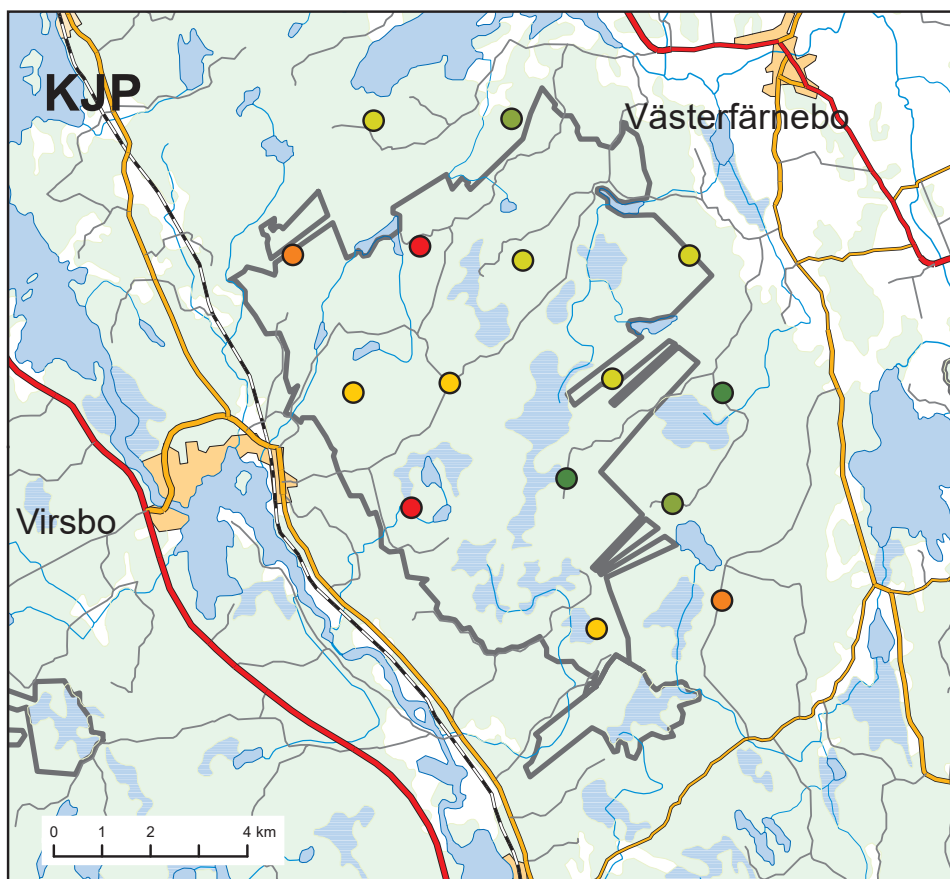
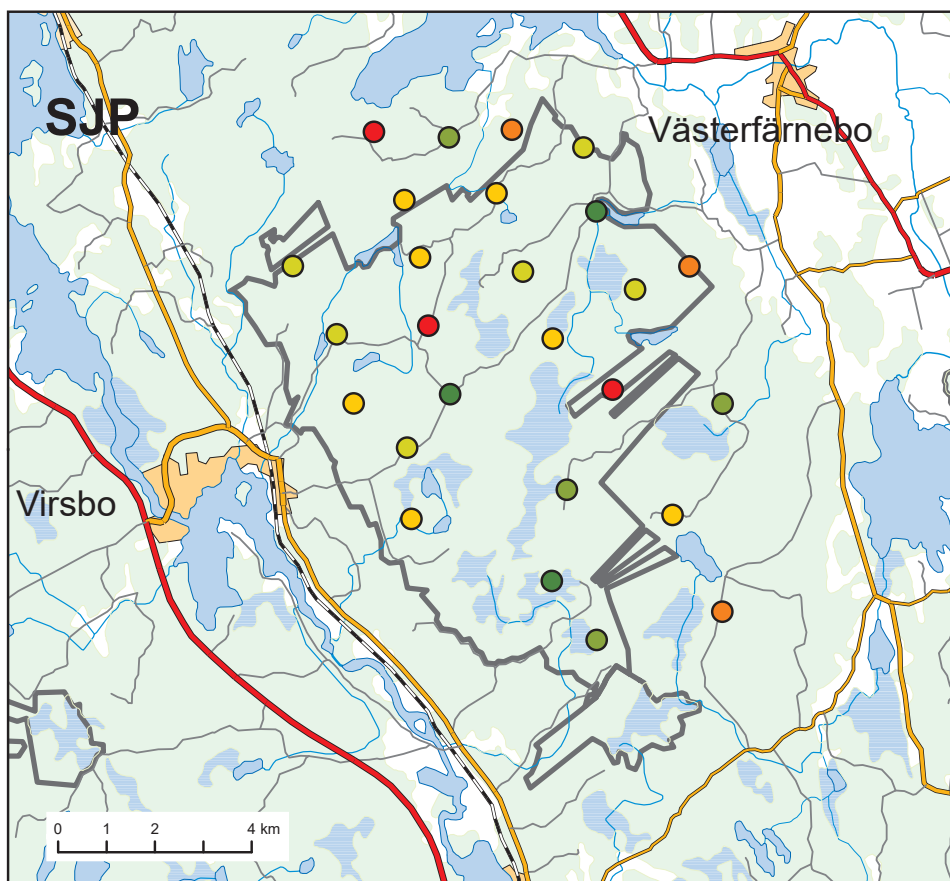


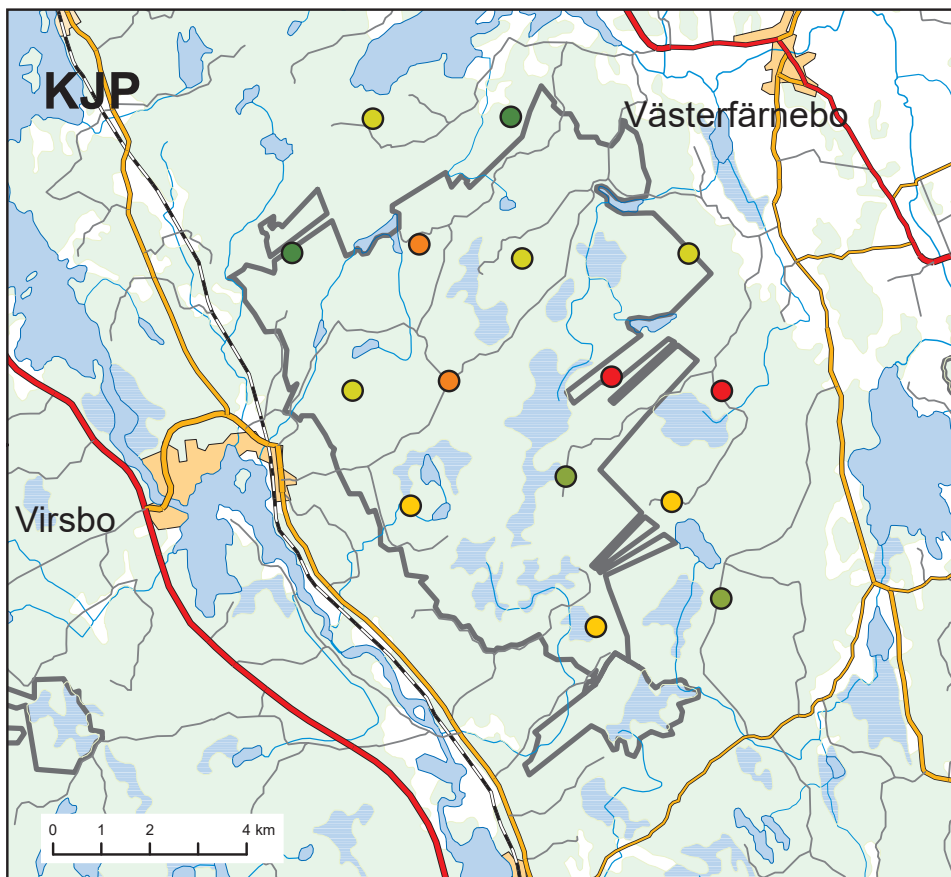
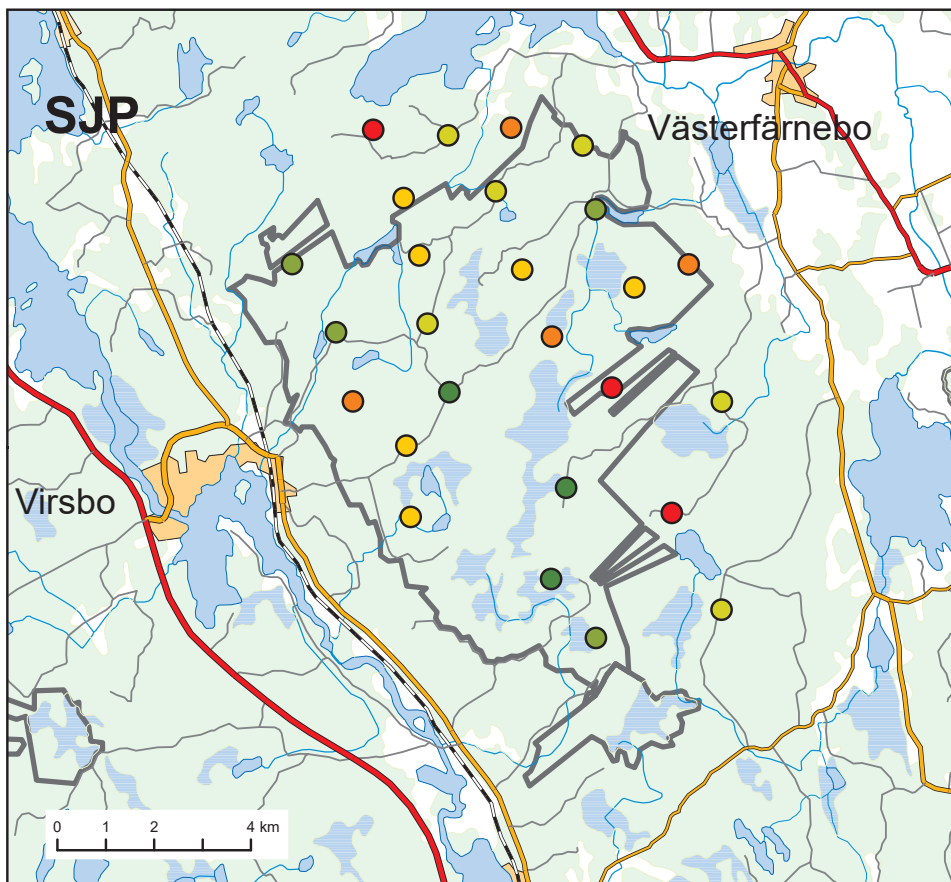


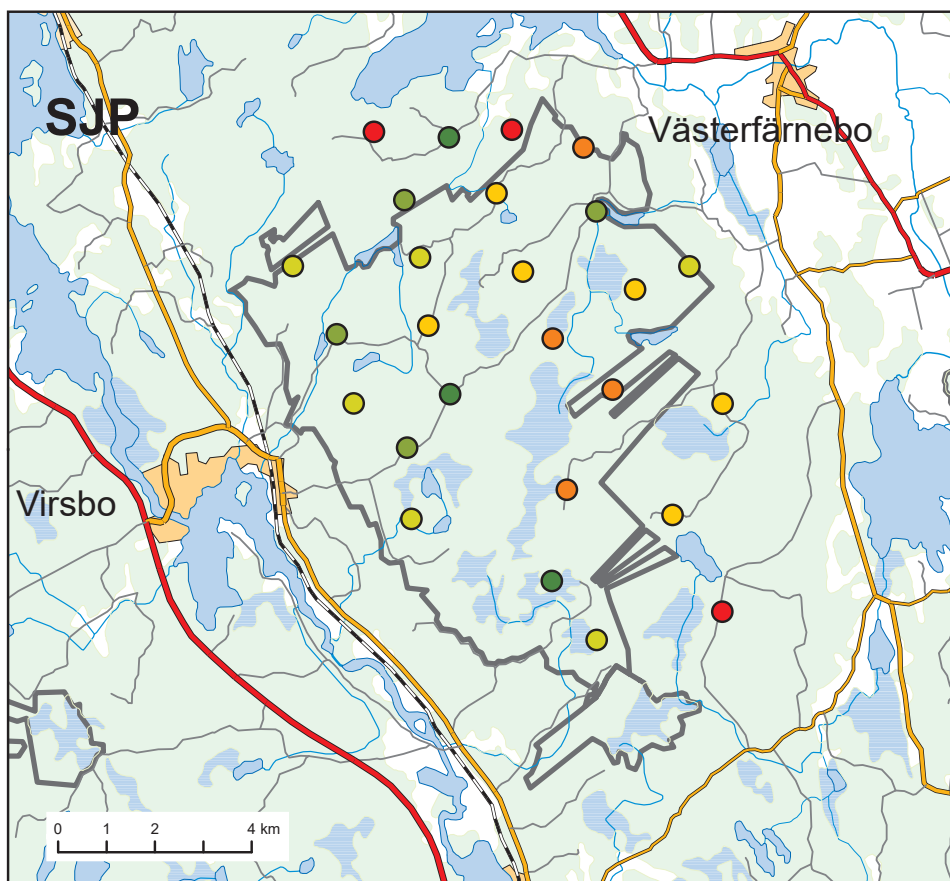








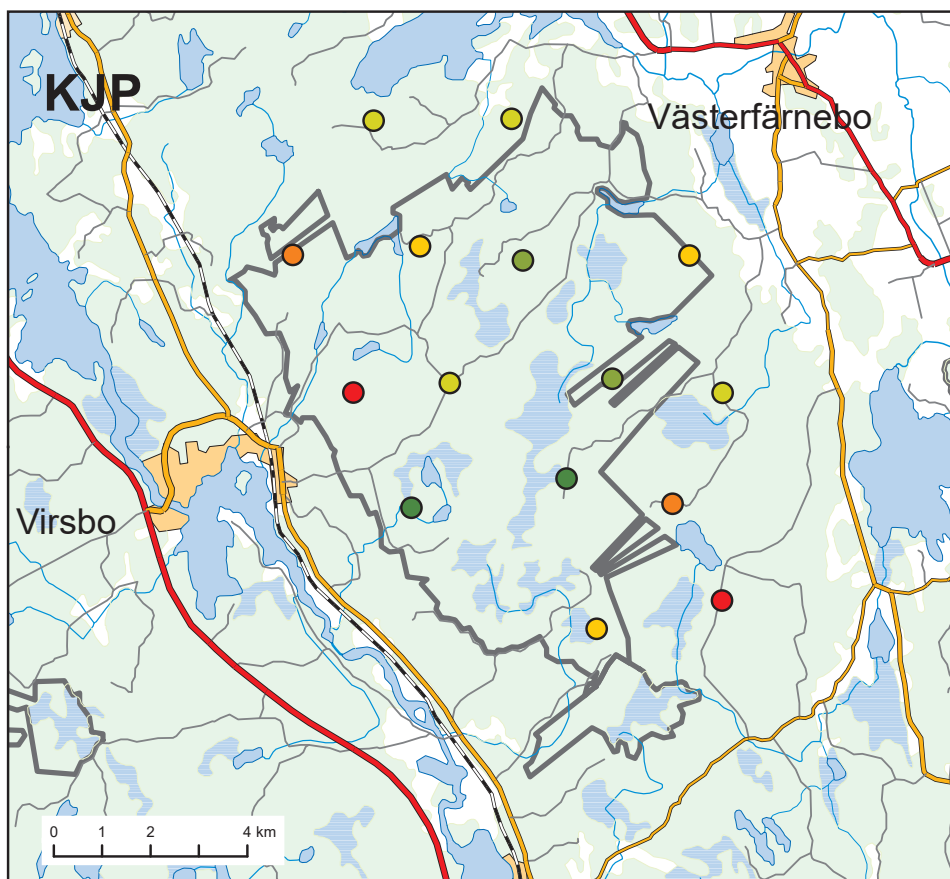




SJP

Fe ppm

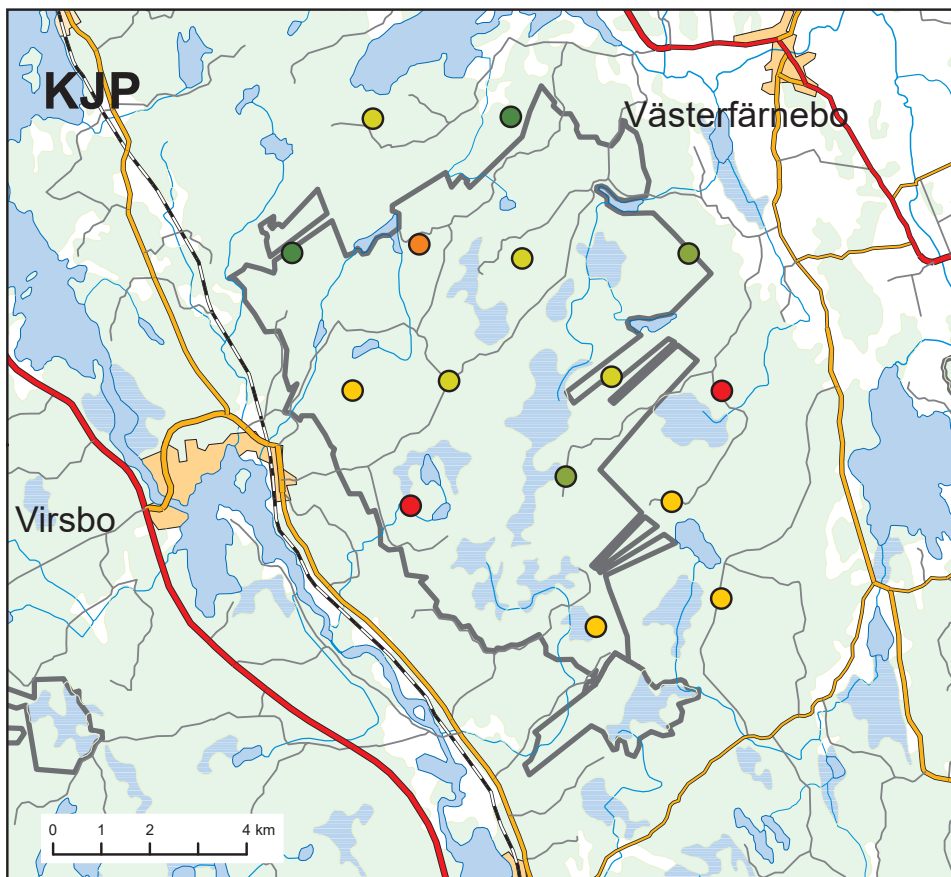
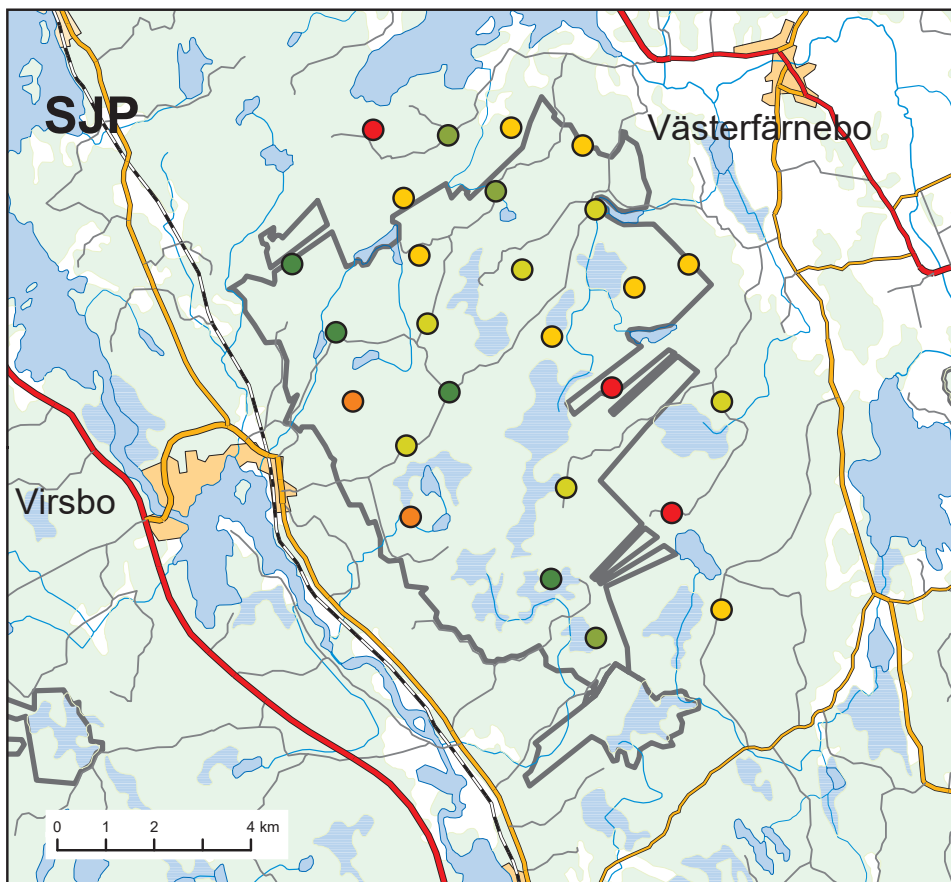
- >31372
- 22112 - 31372
- 19583 - 22111
- 15122 - 19582
- 12303 - 15121
- <12303

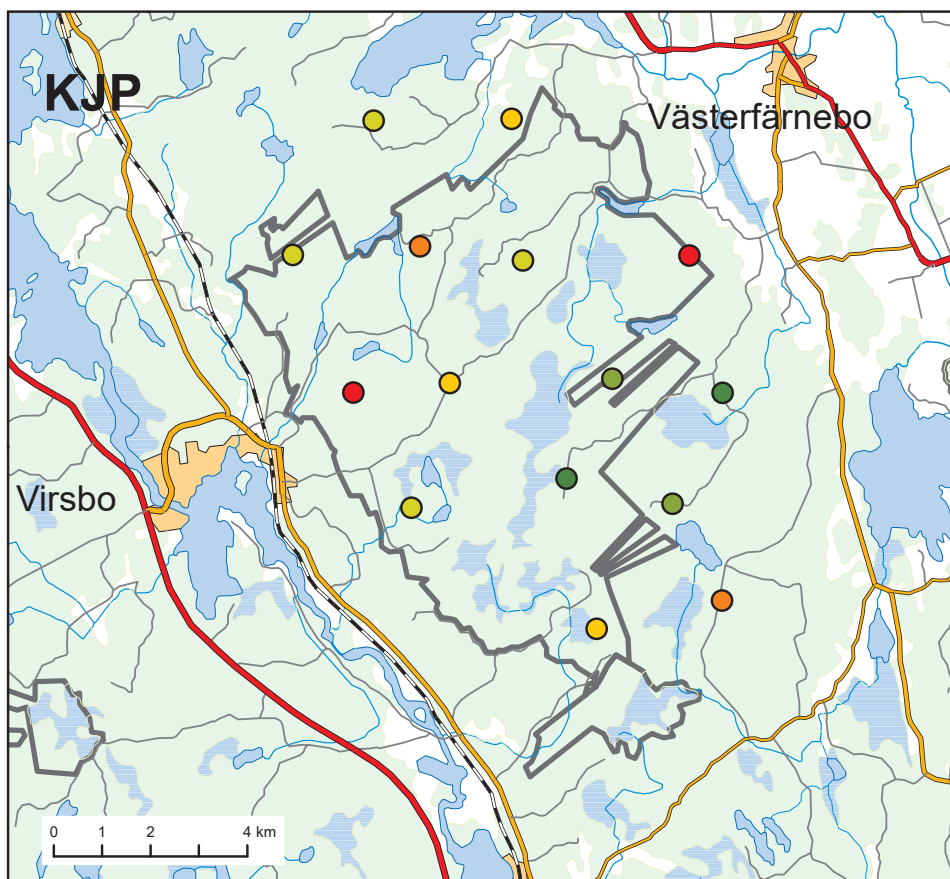
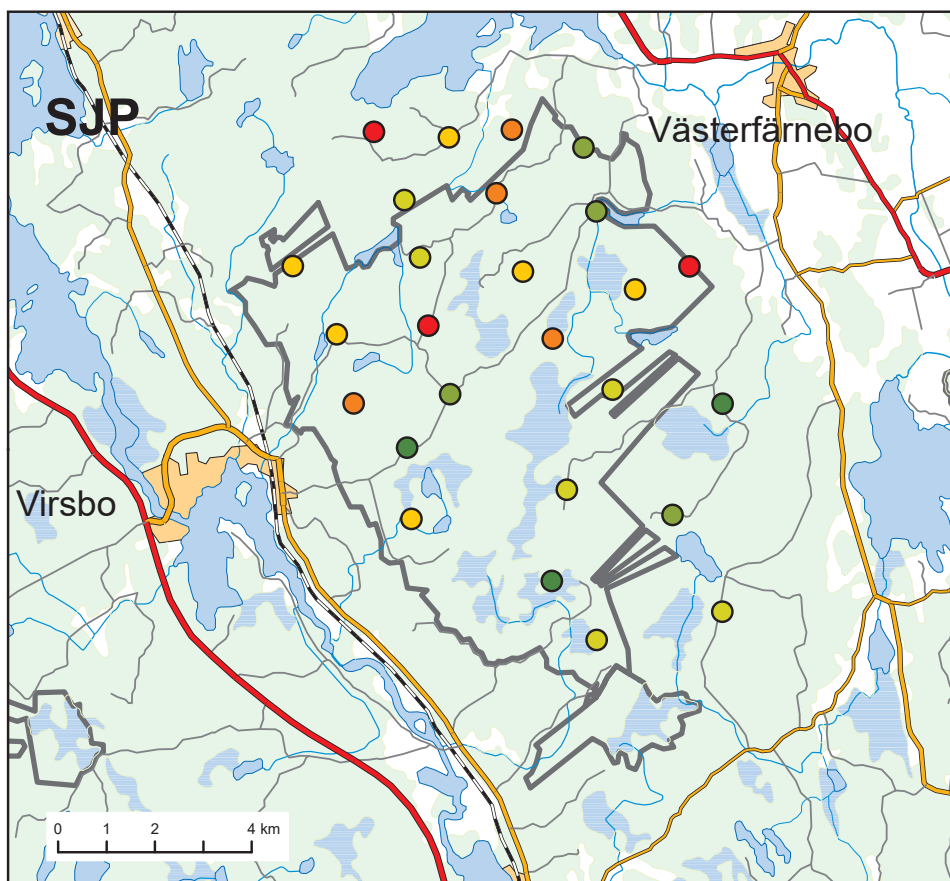


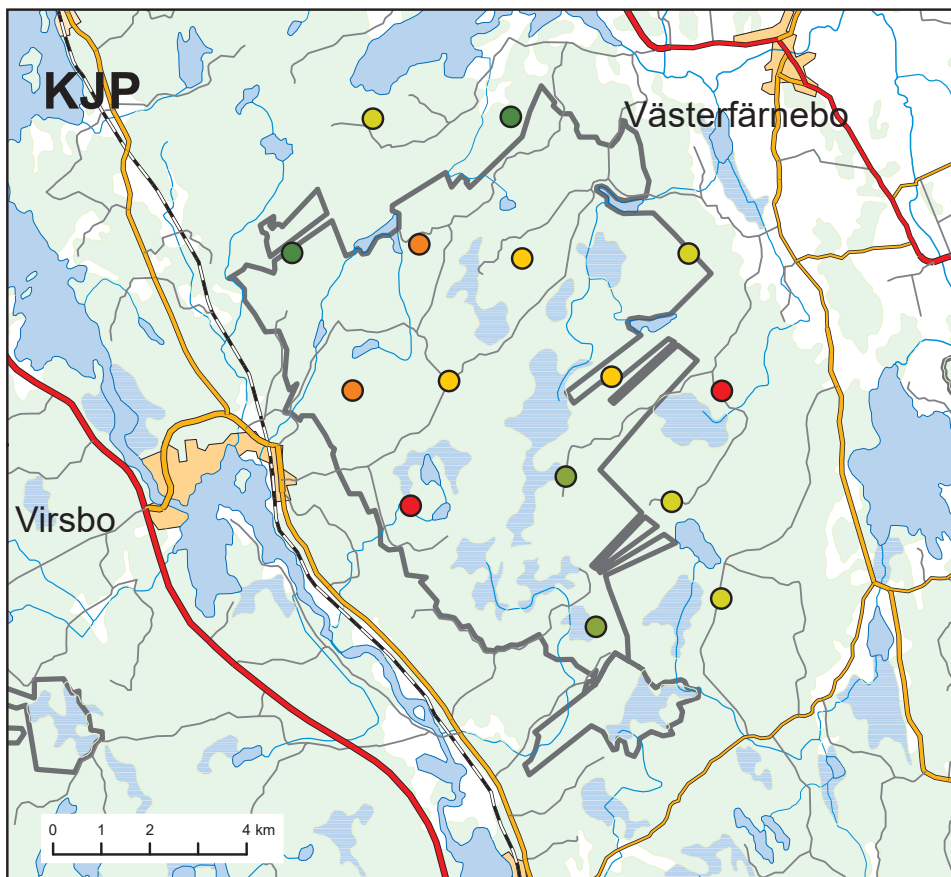
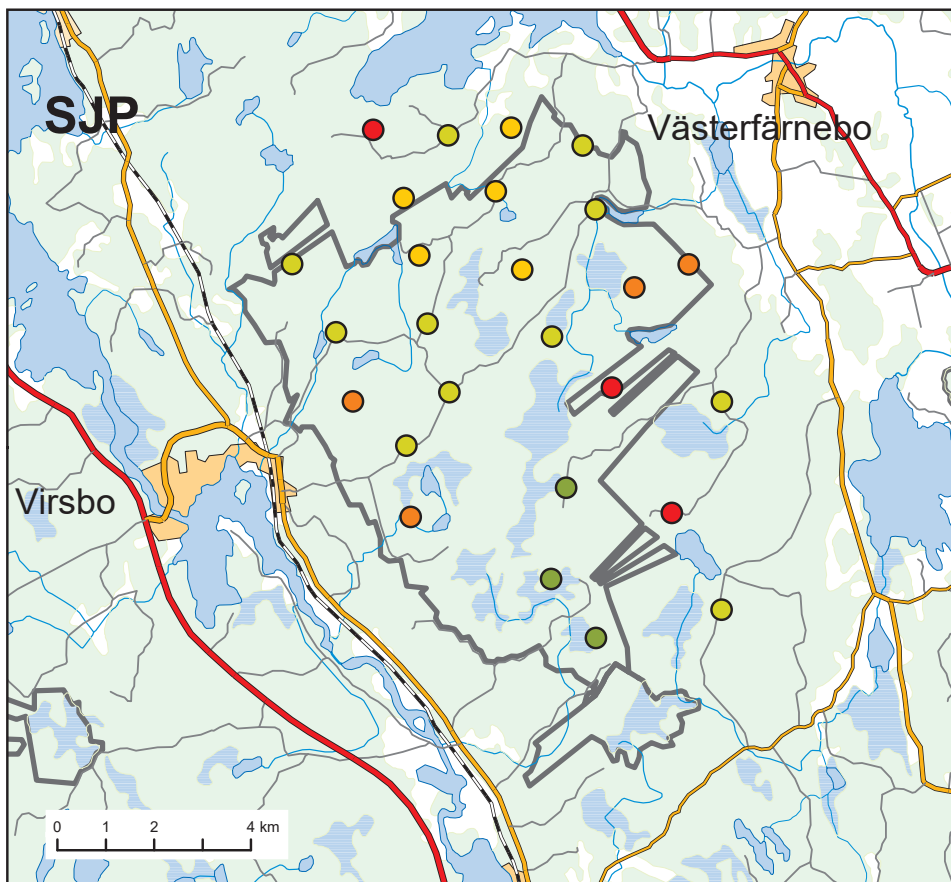
KJP

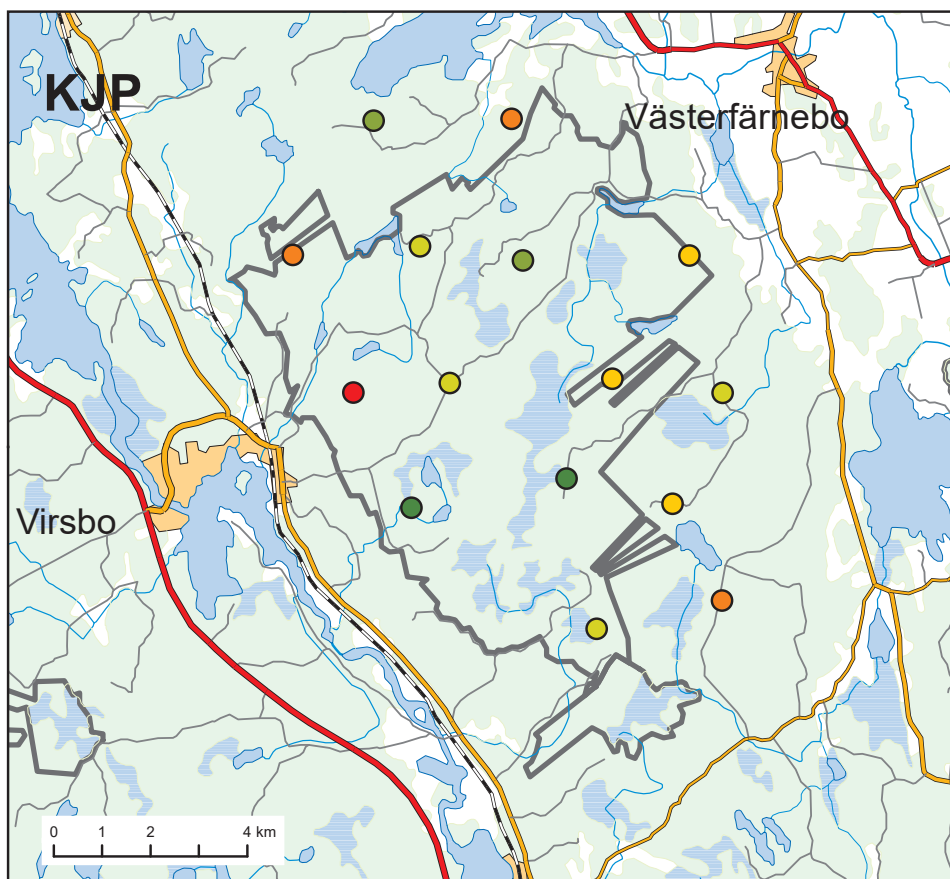
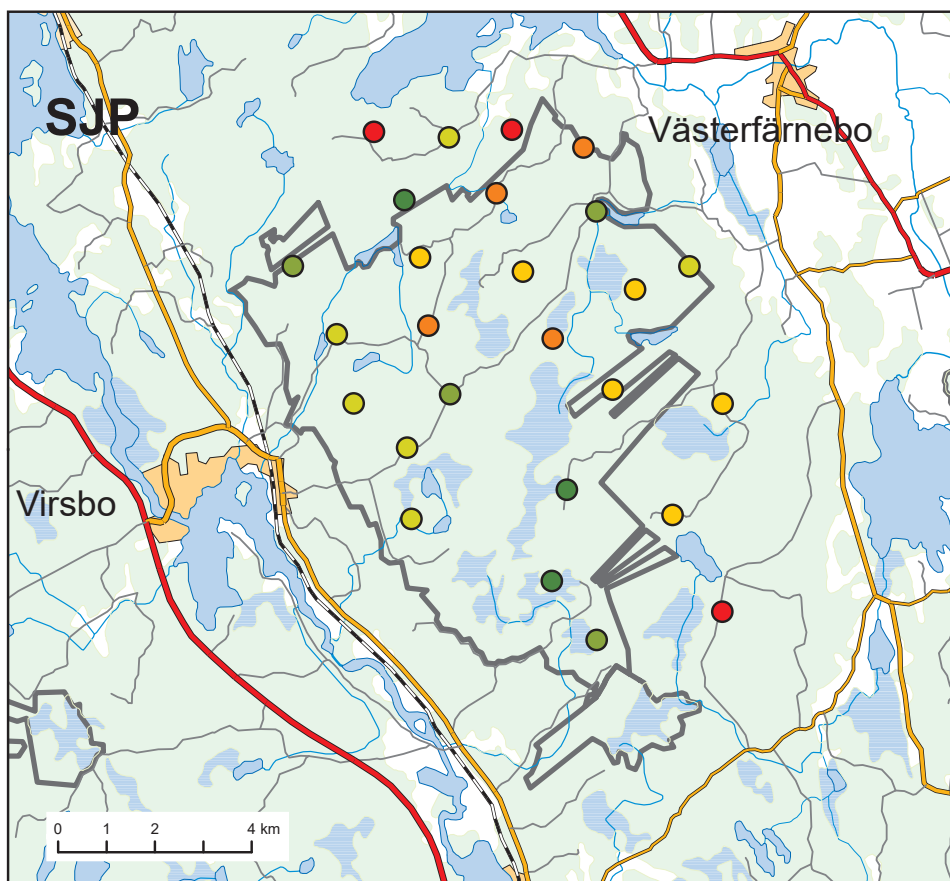
Fe ppm

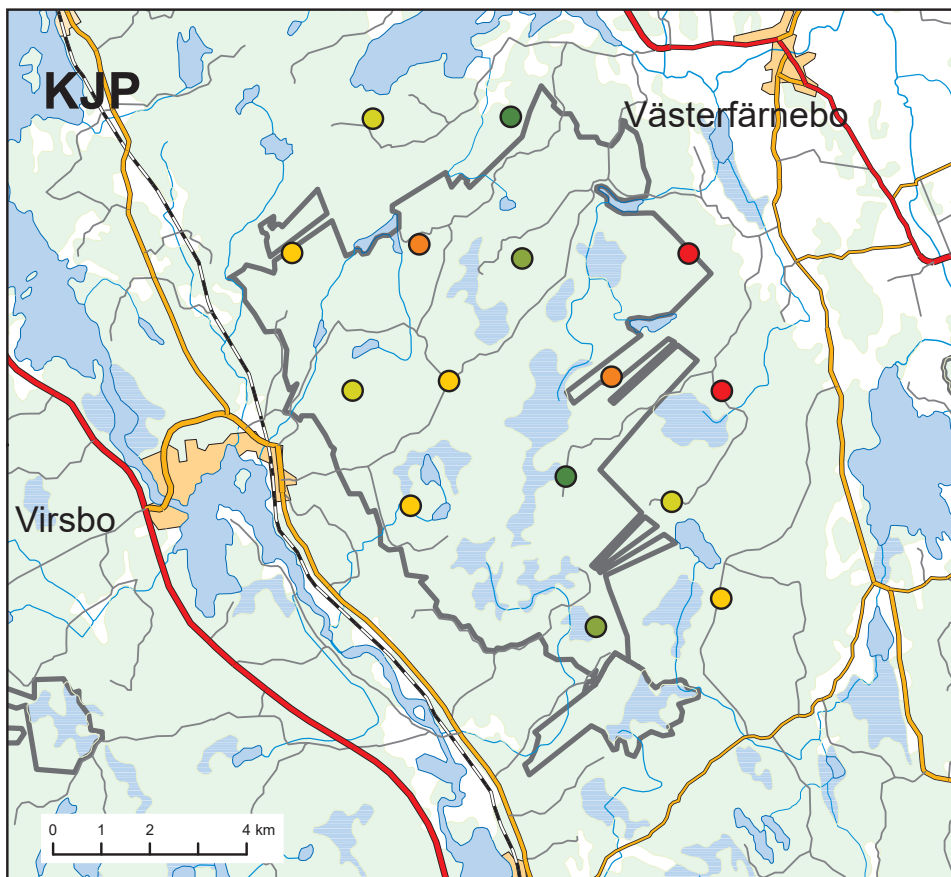
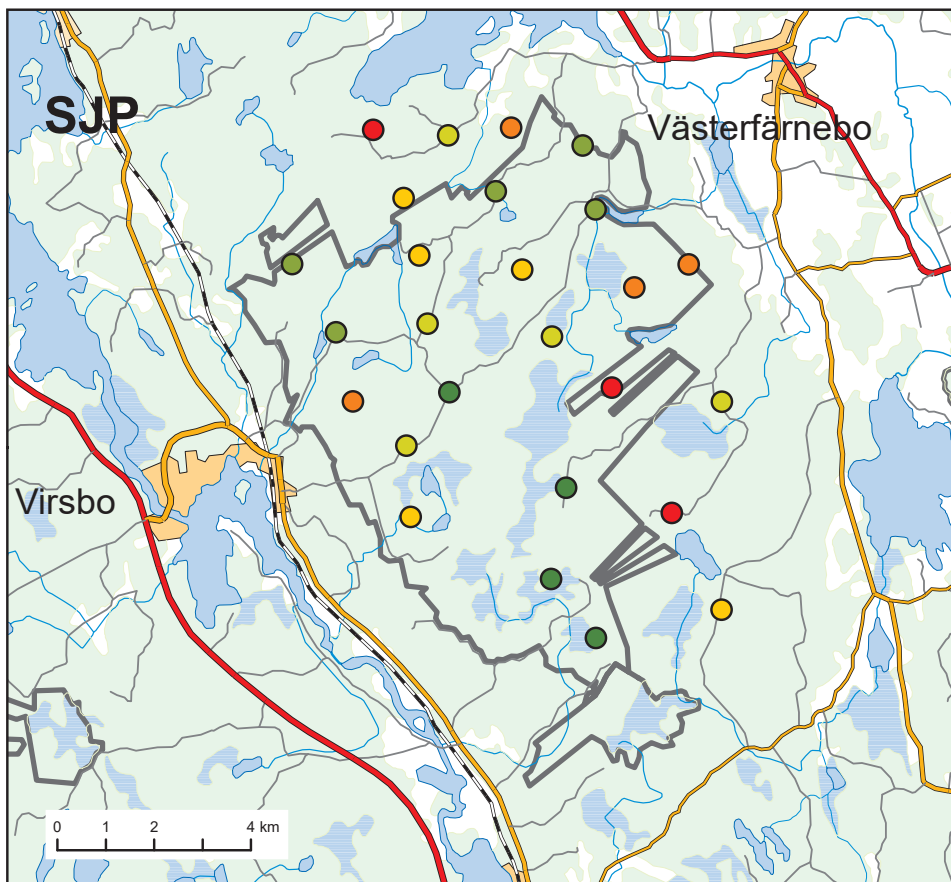
- >19251
- 14605 - 19251
- 14112 - 14604
- 12738 - 14111
- 10579 - 12737
- <10579

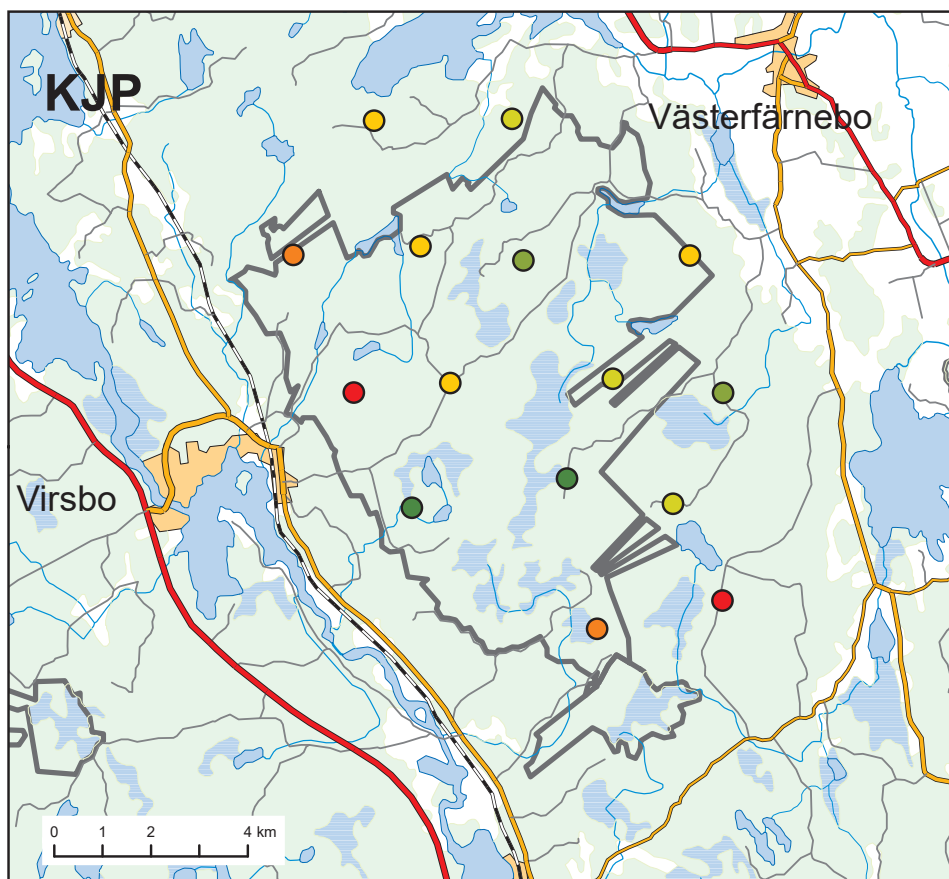
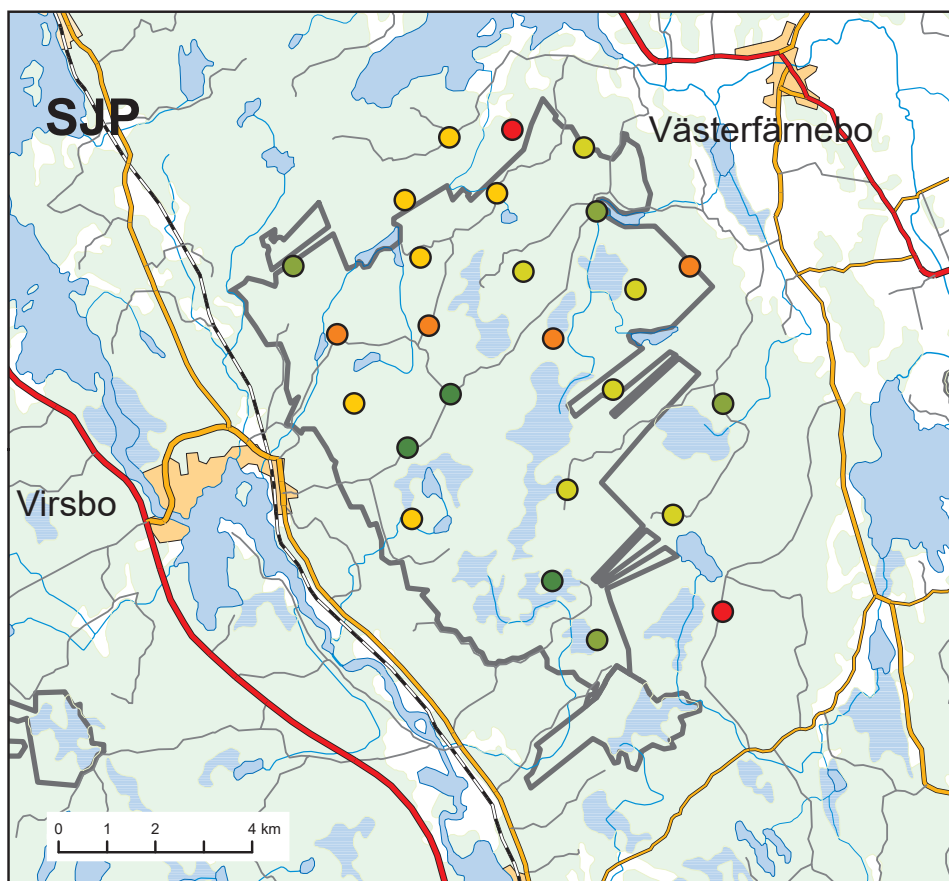


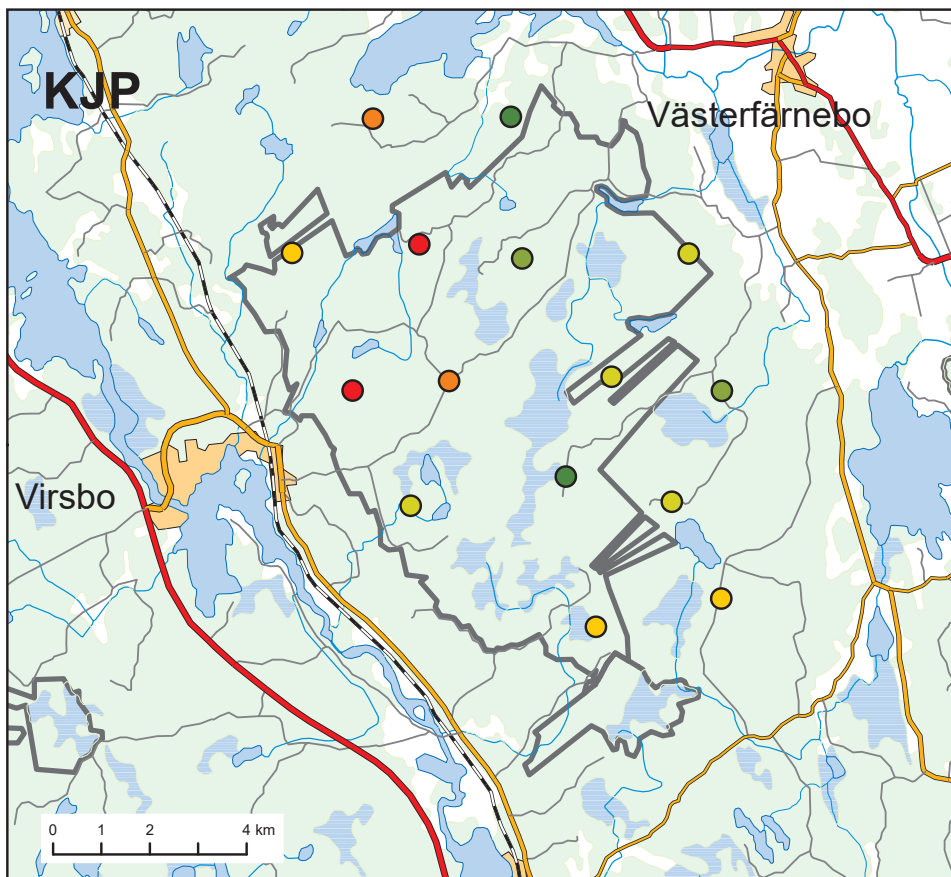
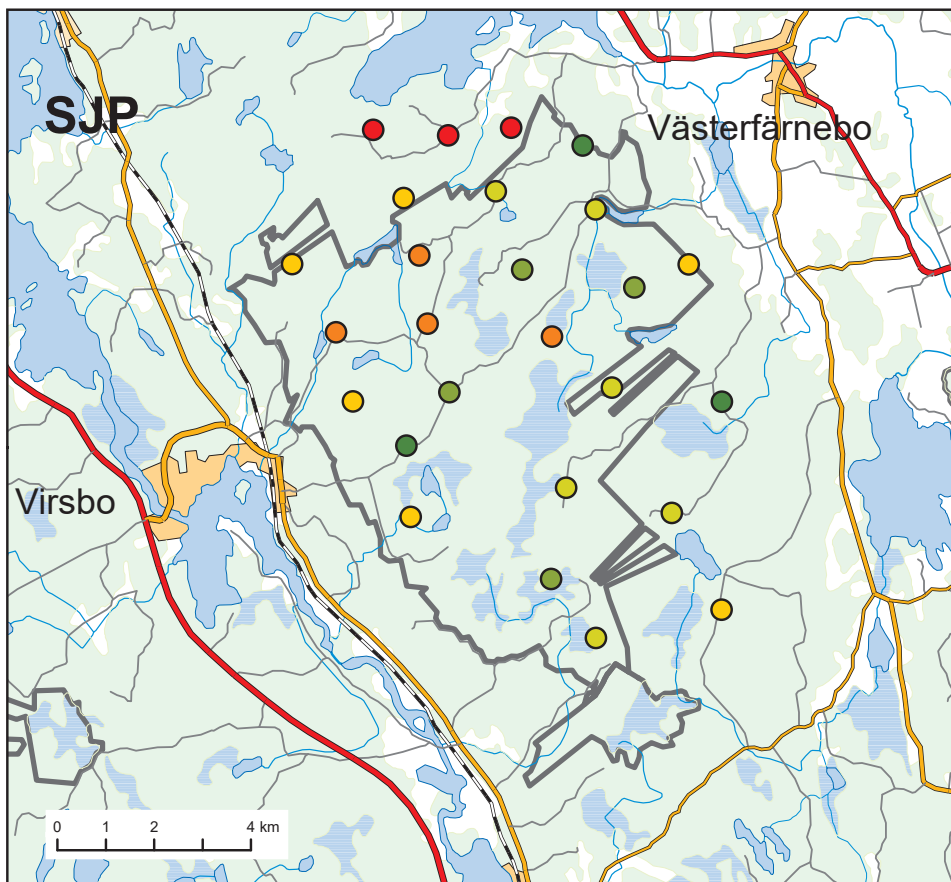


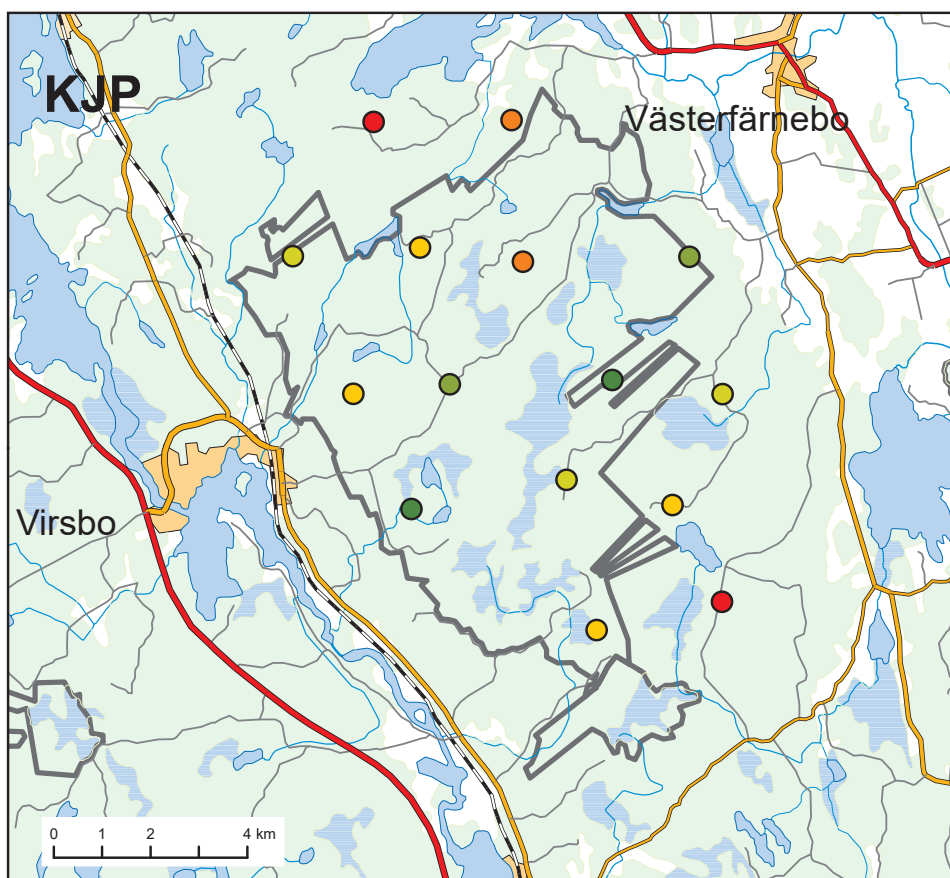
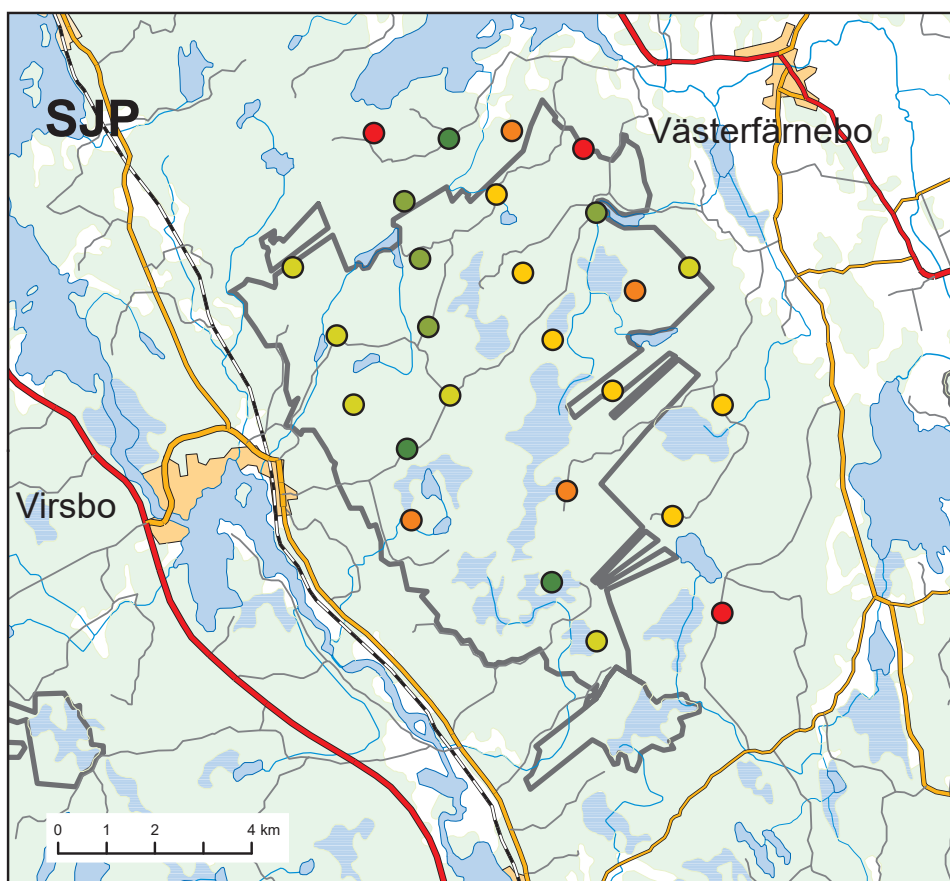


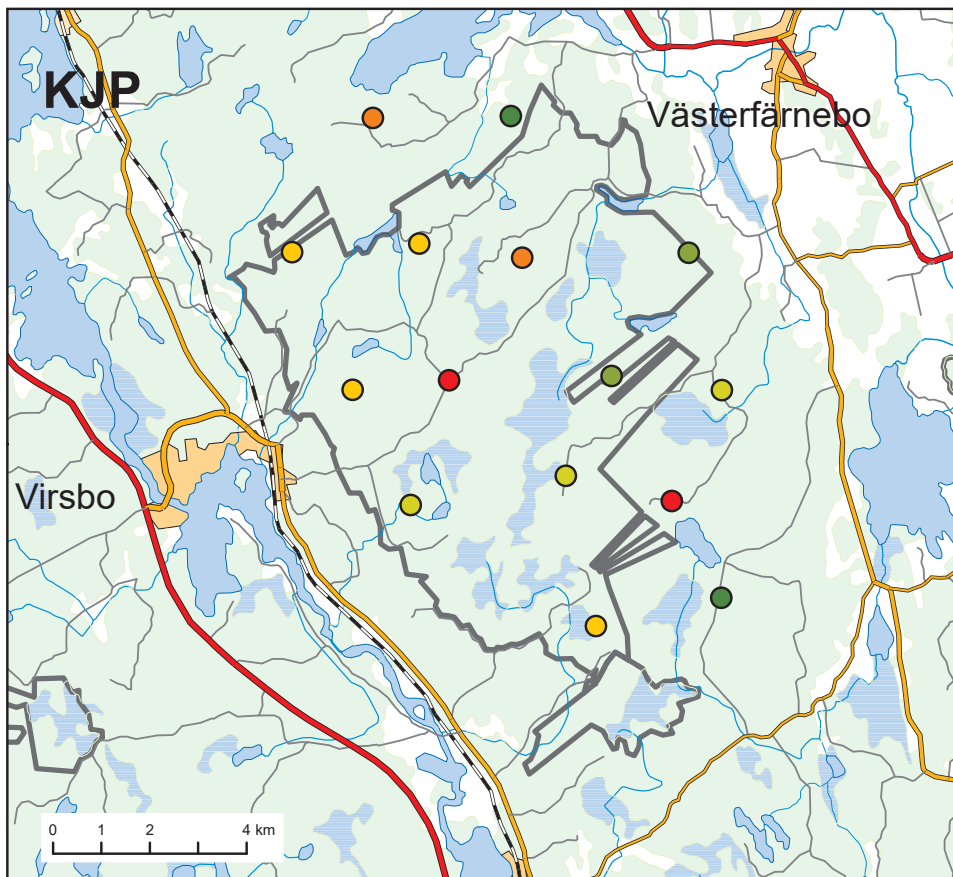
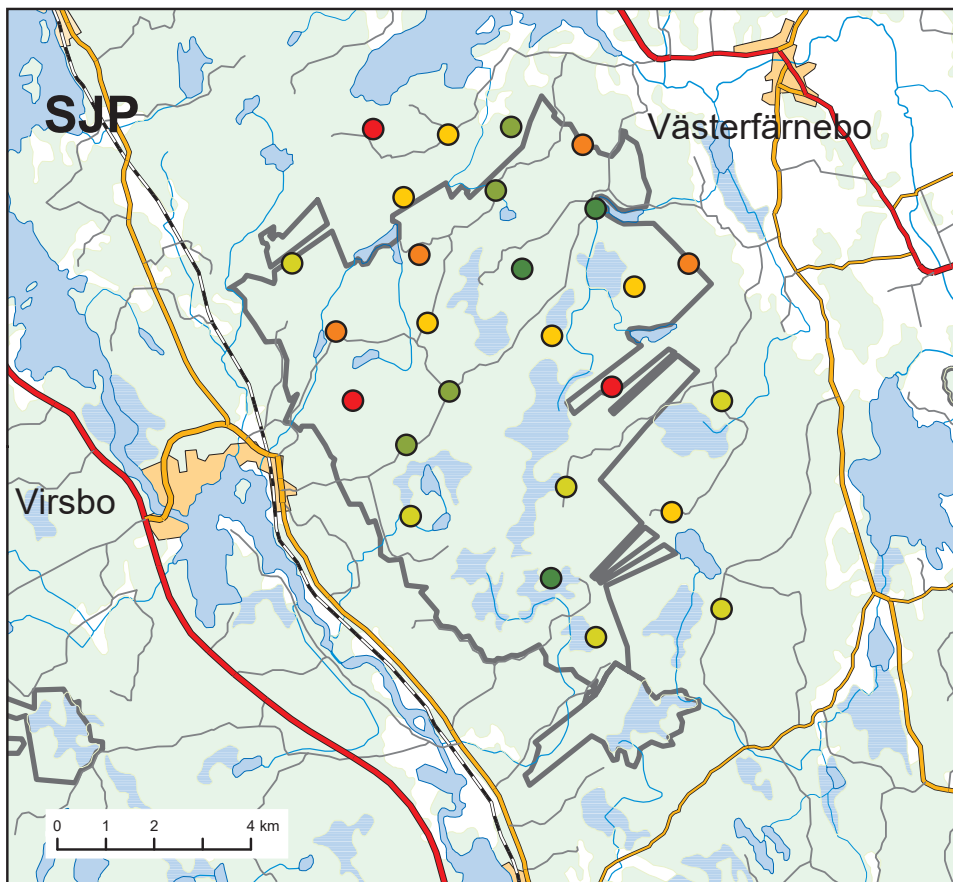


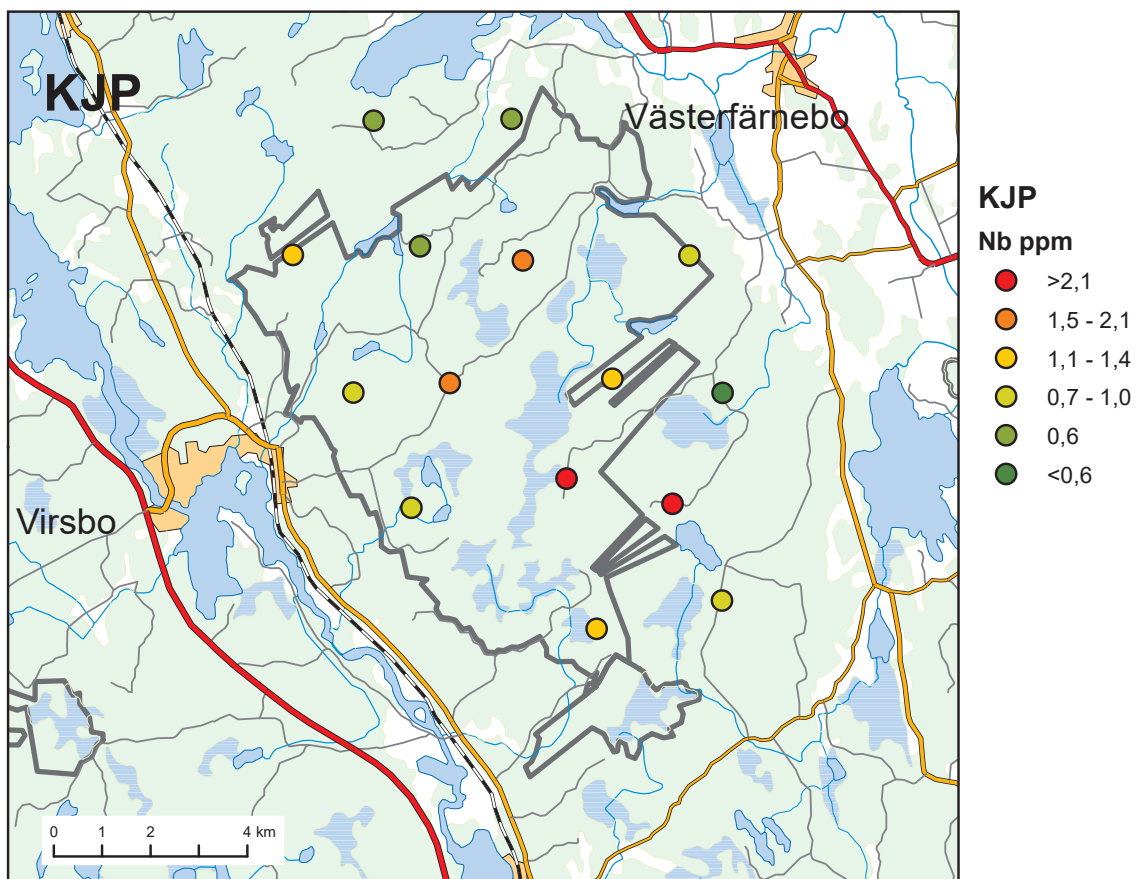
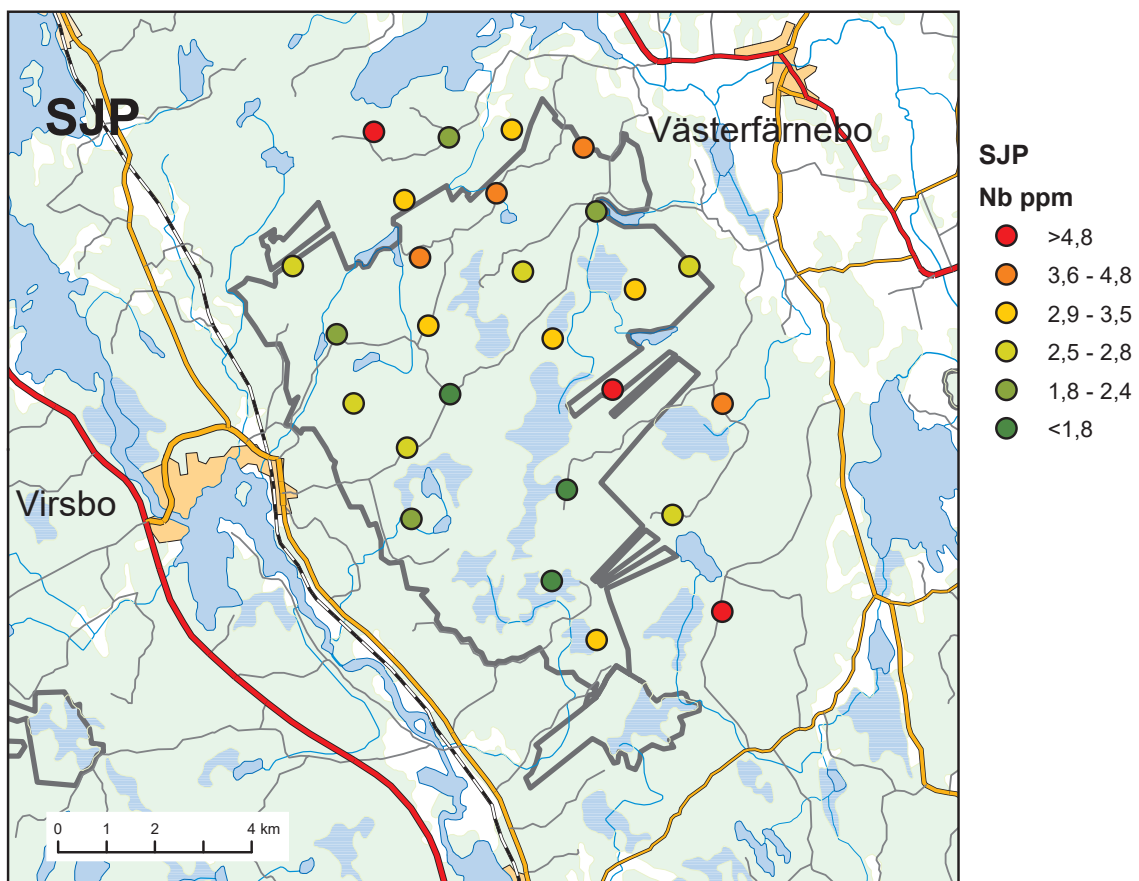


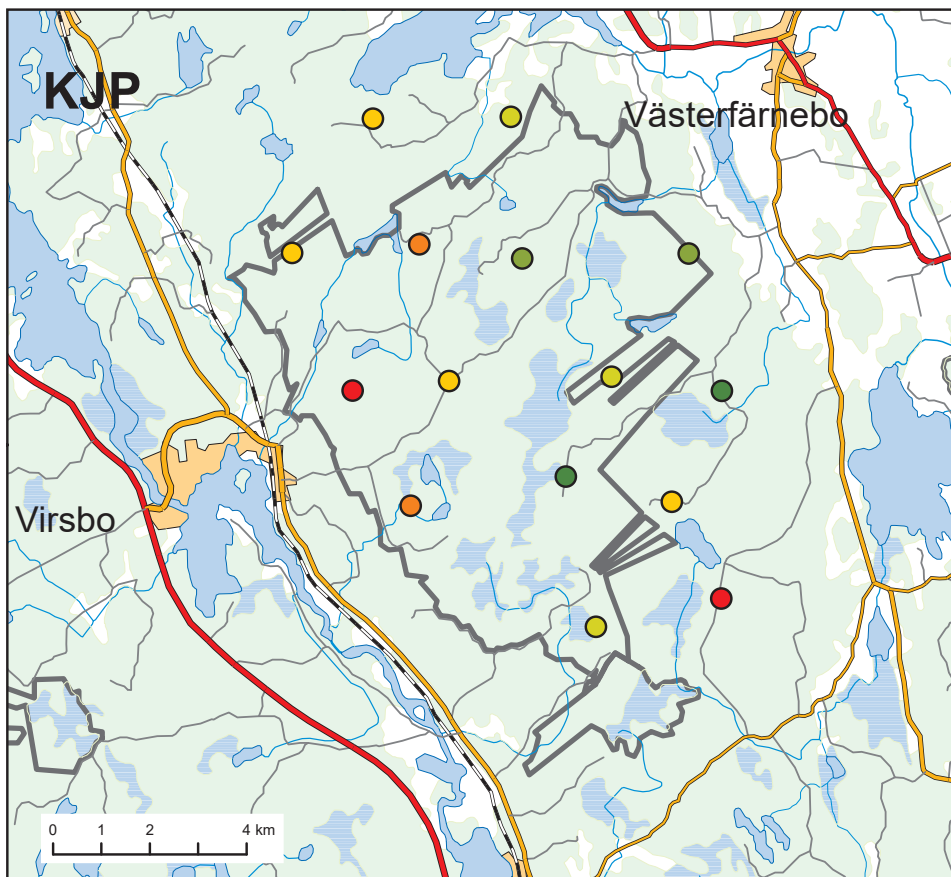
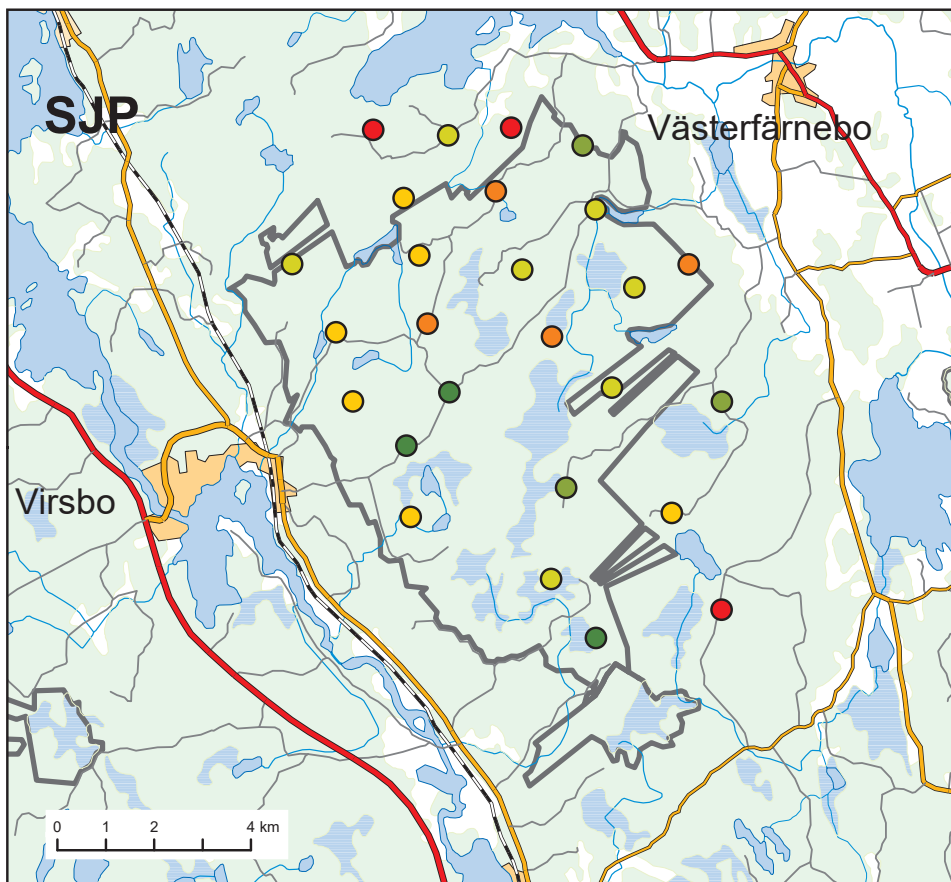


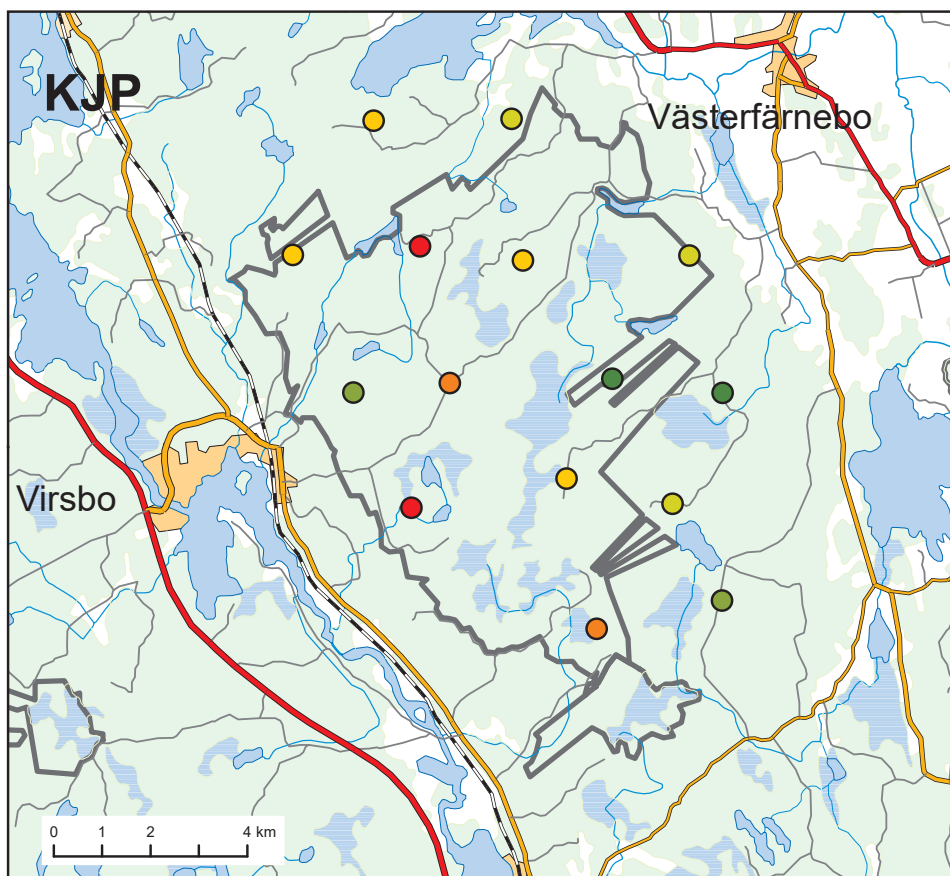
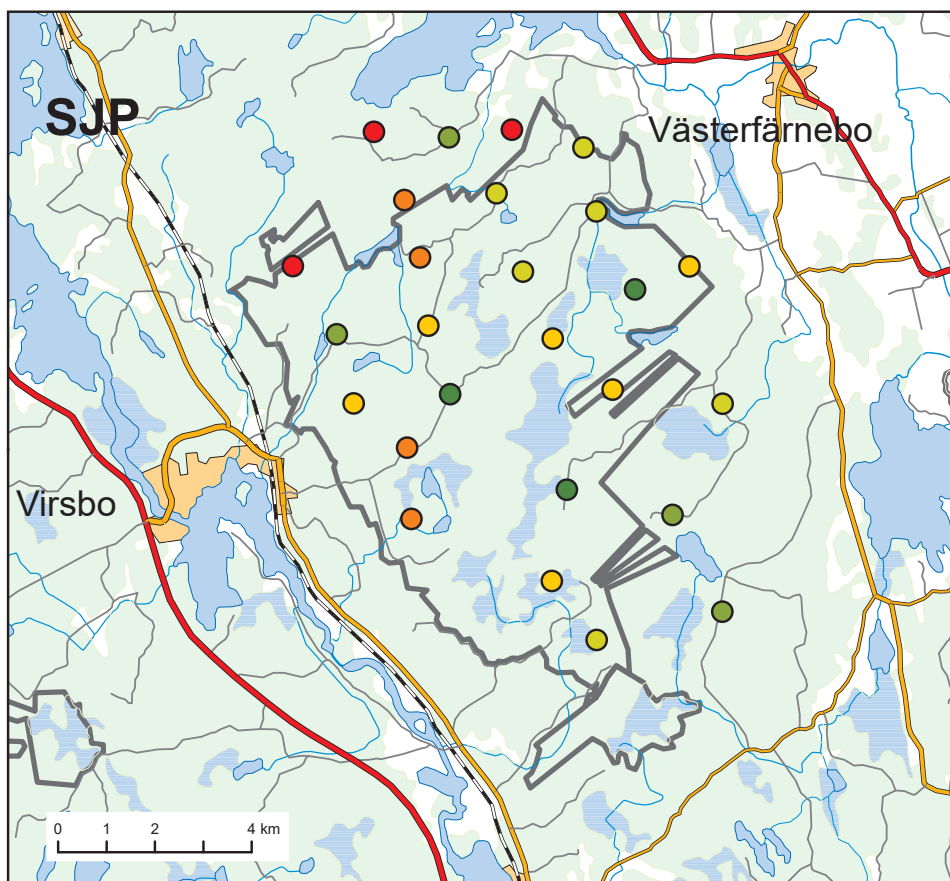


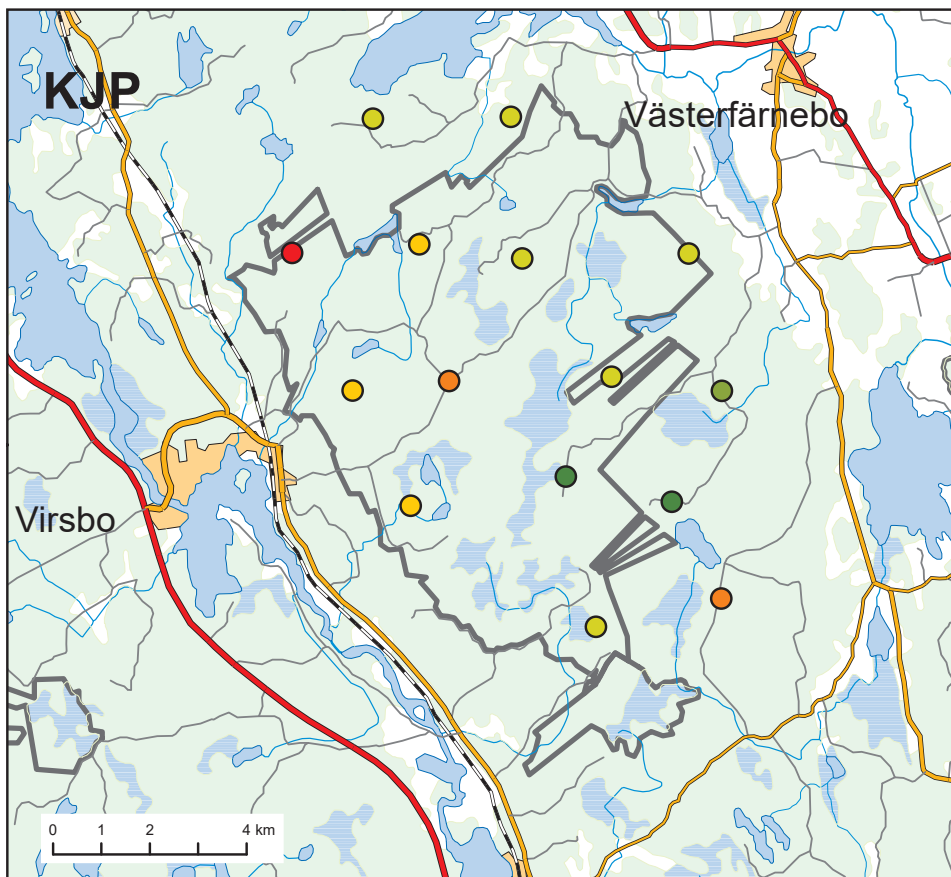
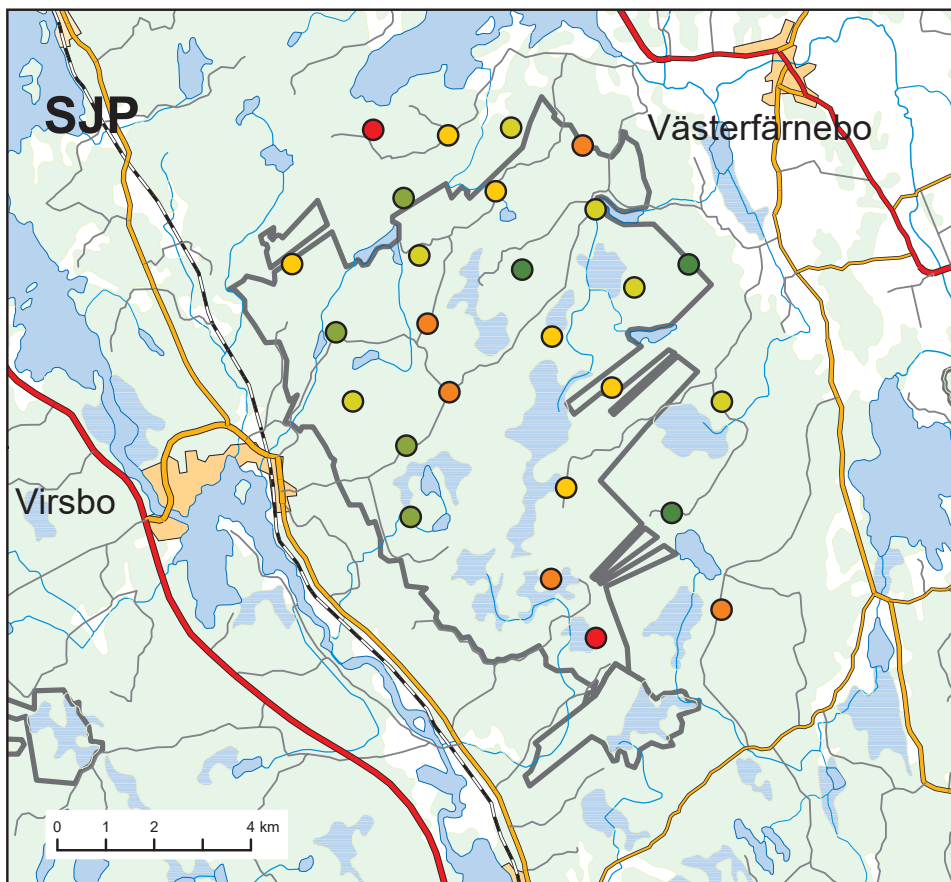


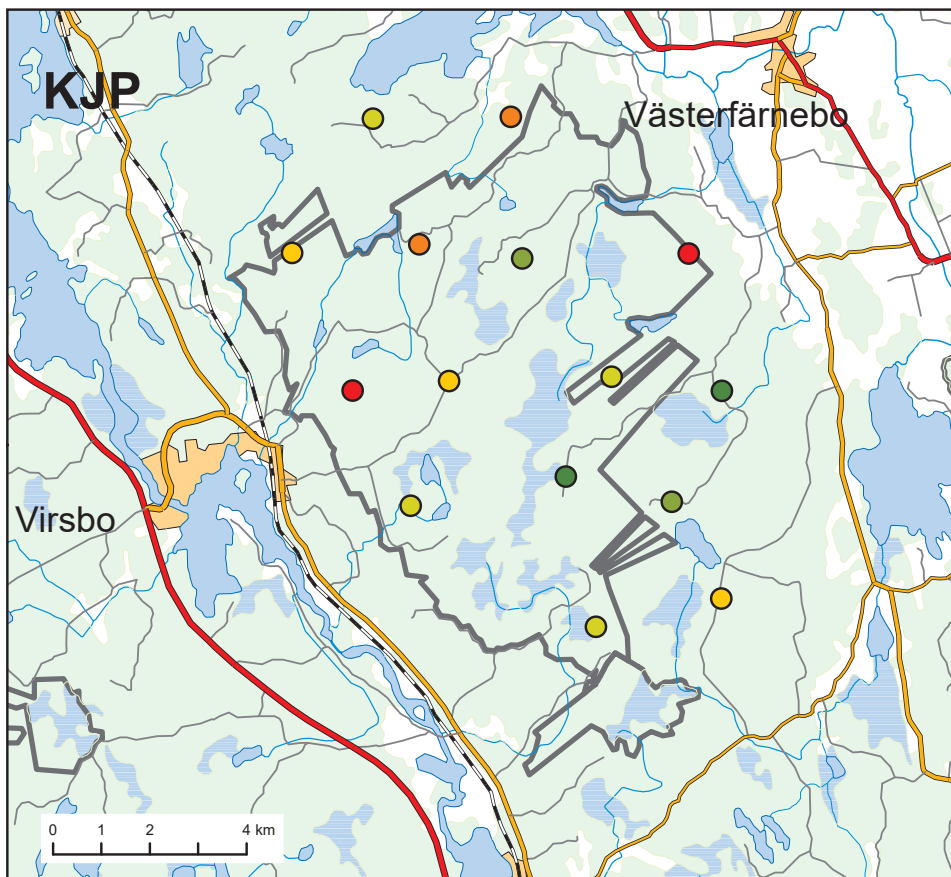
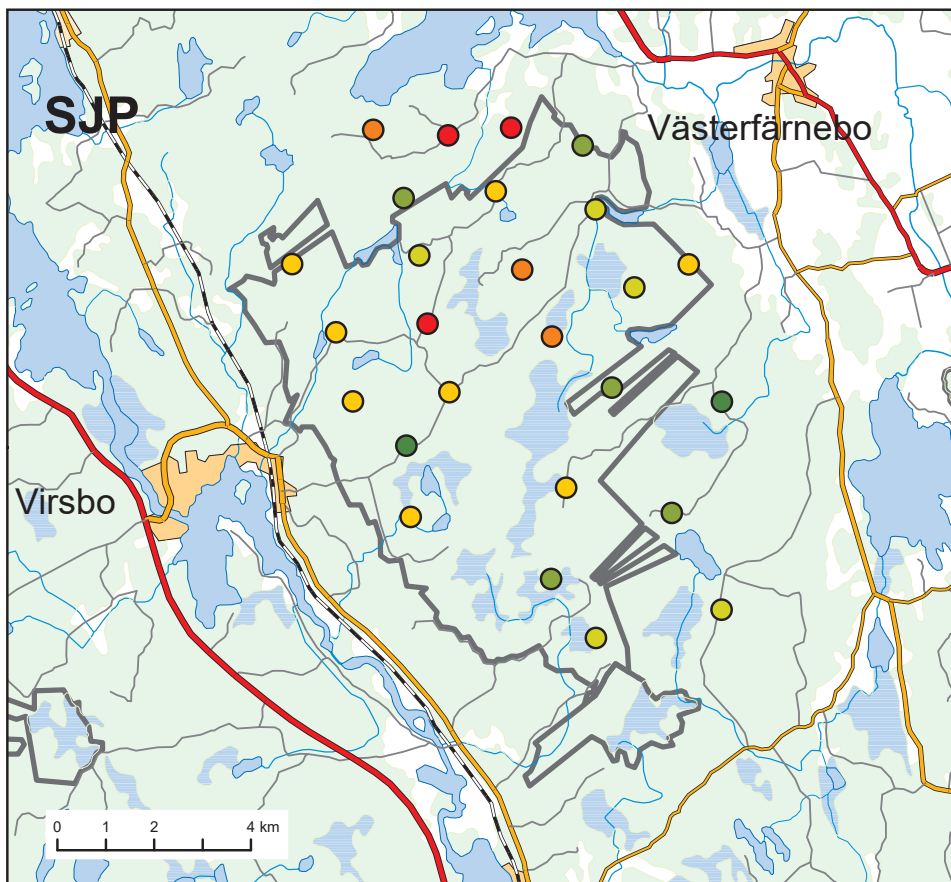


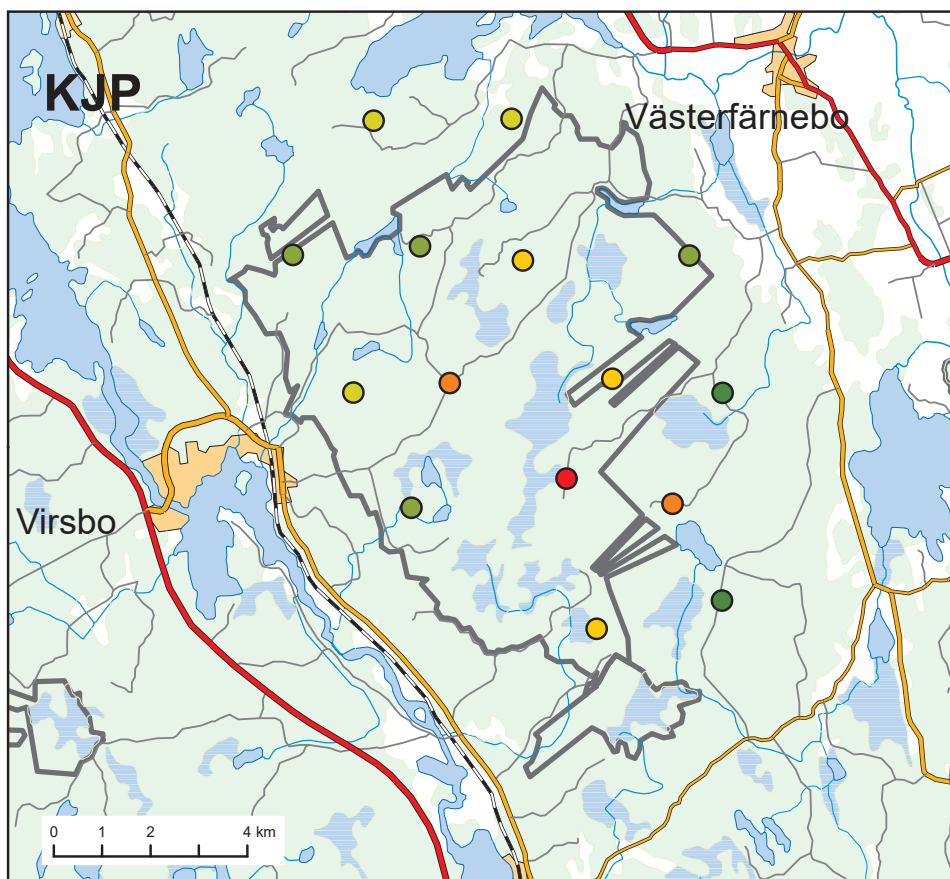
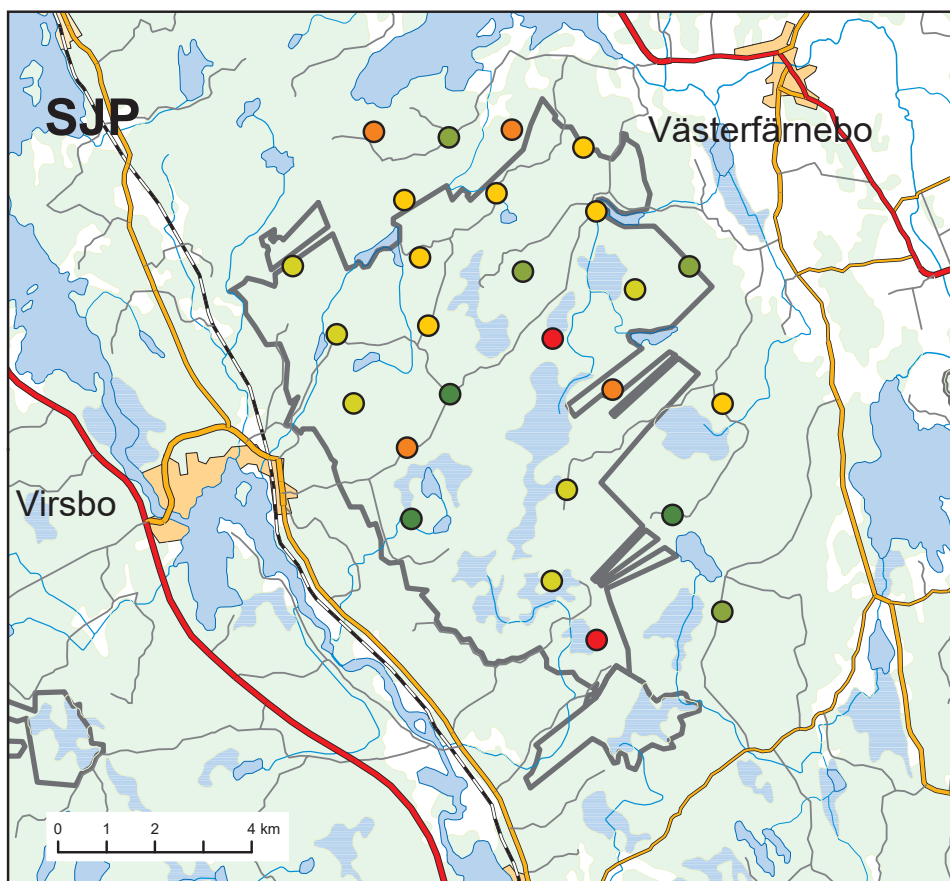


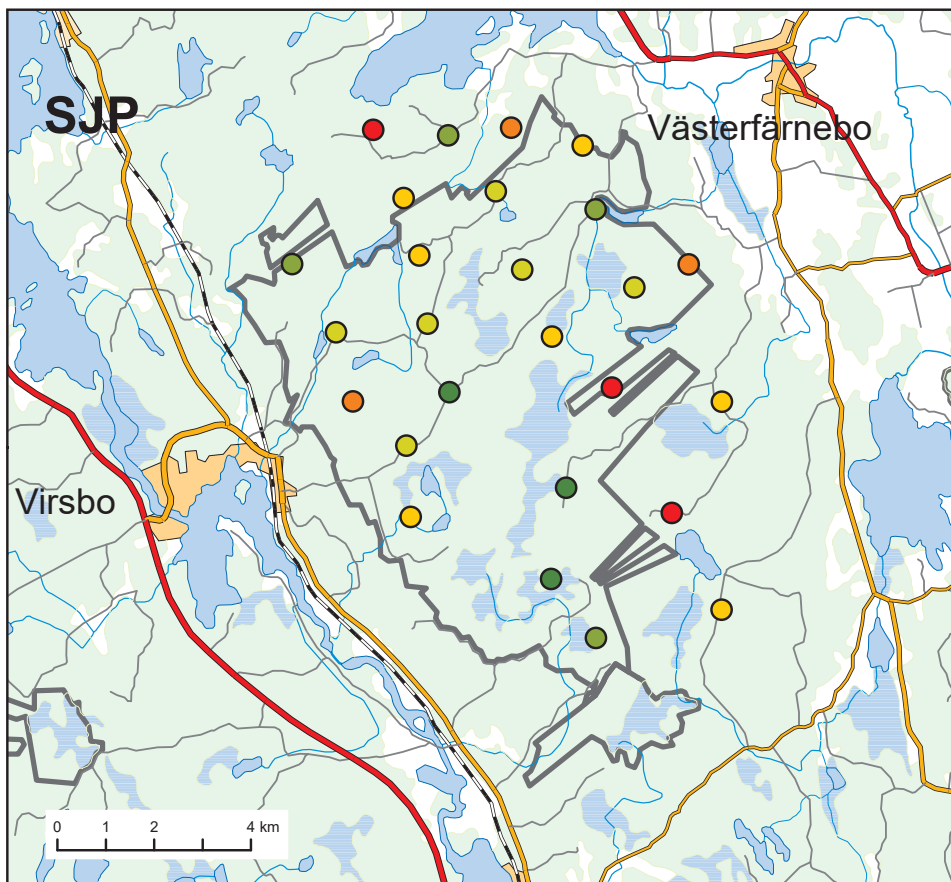








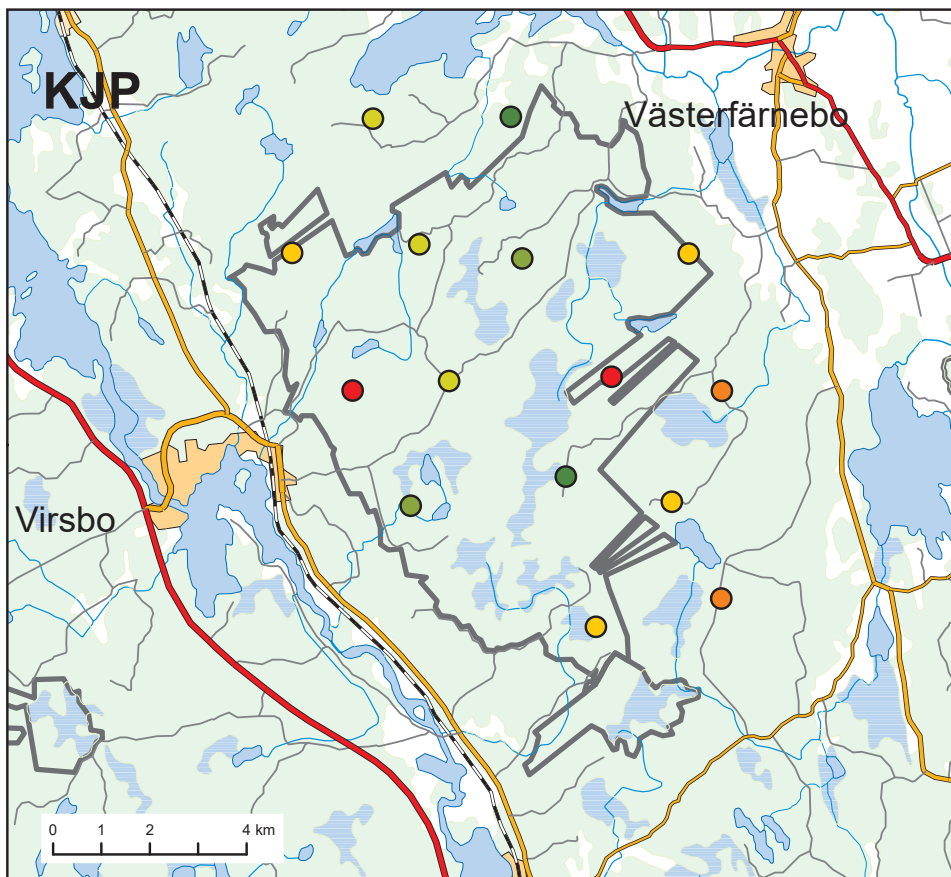




SJP

Sc ppm

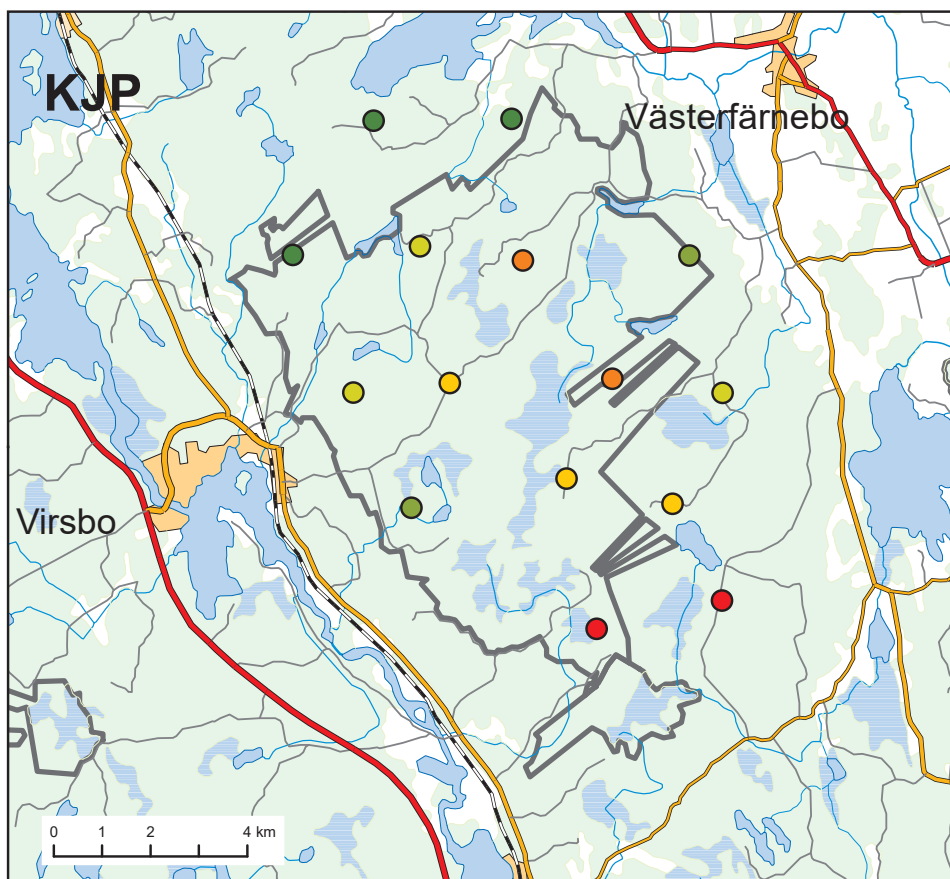
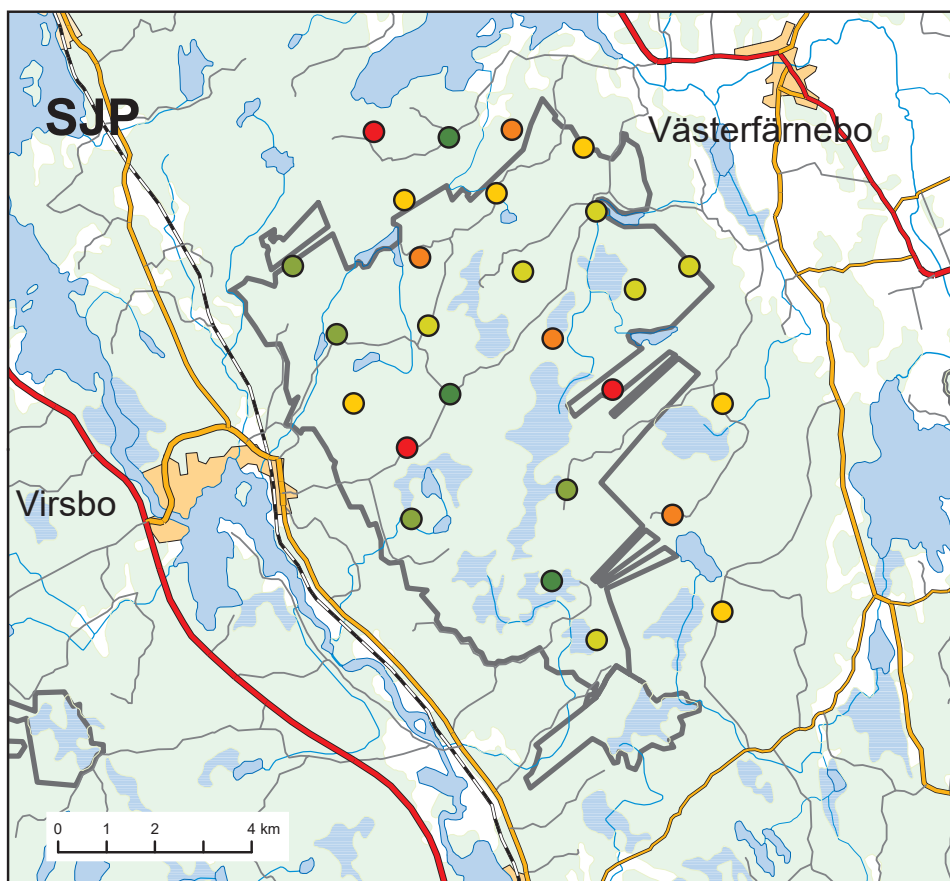
- >5,3
- 3,6 - 5,3
- 2,6 - 3,5
- 2,1 - 2,5
- 1,5 - 2,0
- <1,5

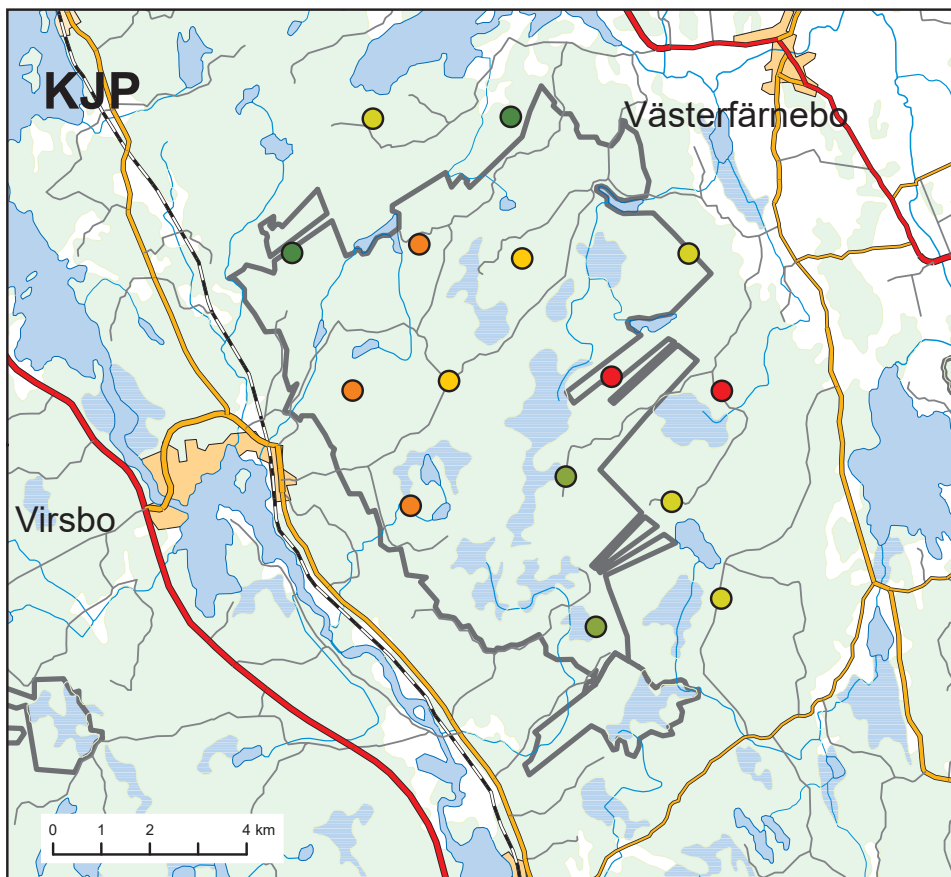
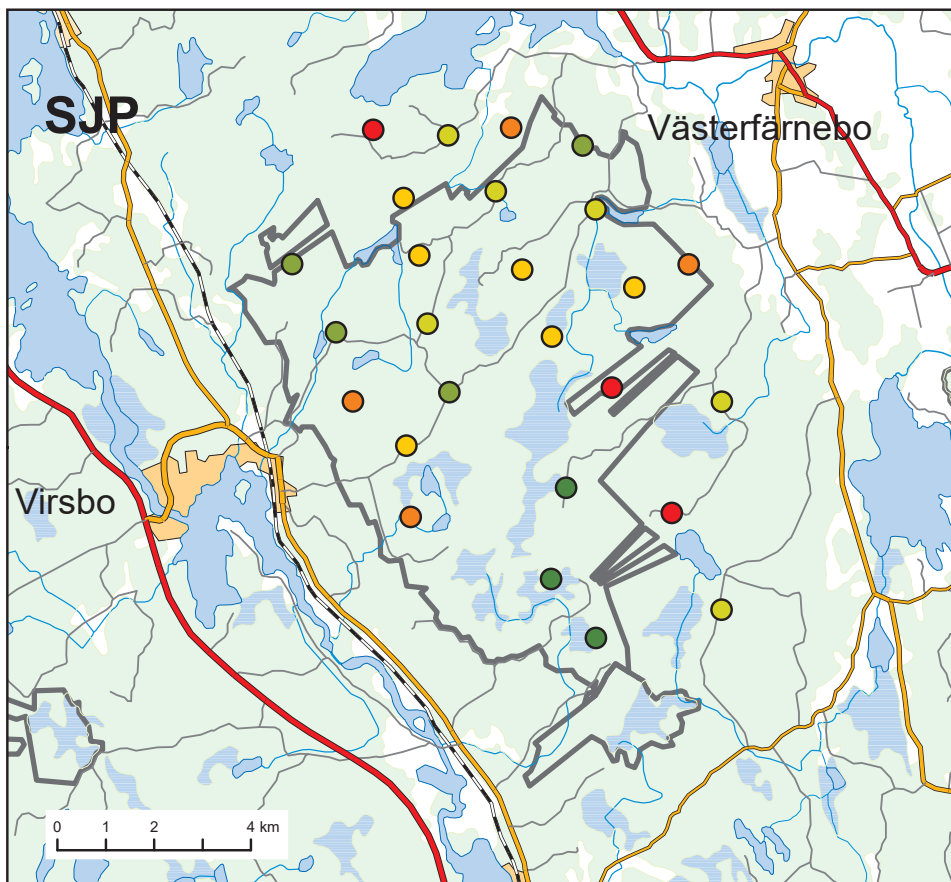


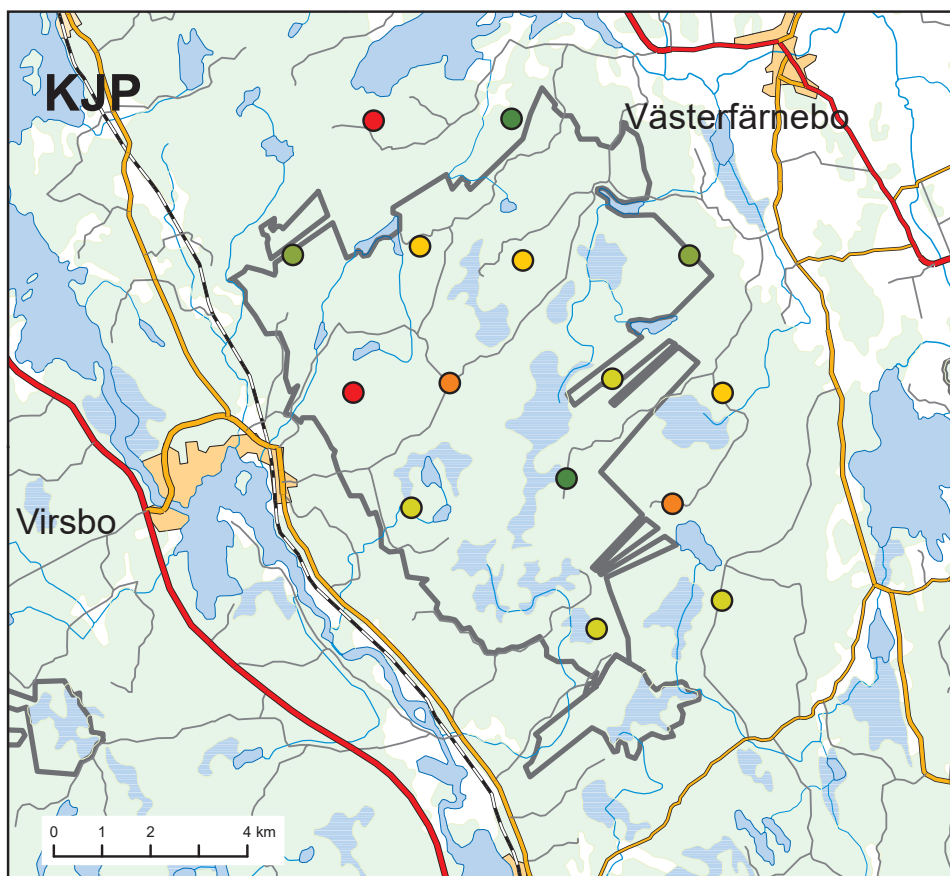
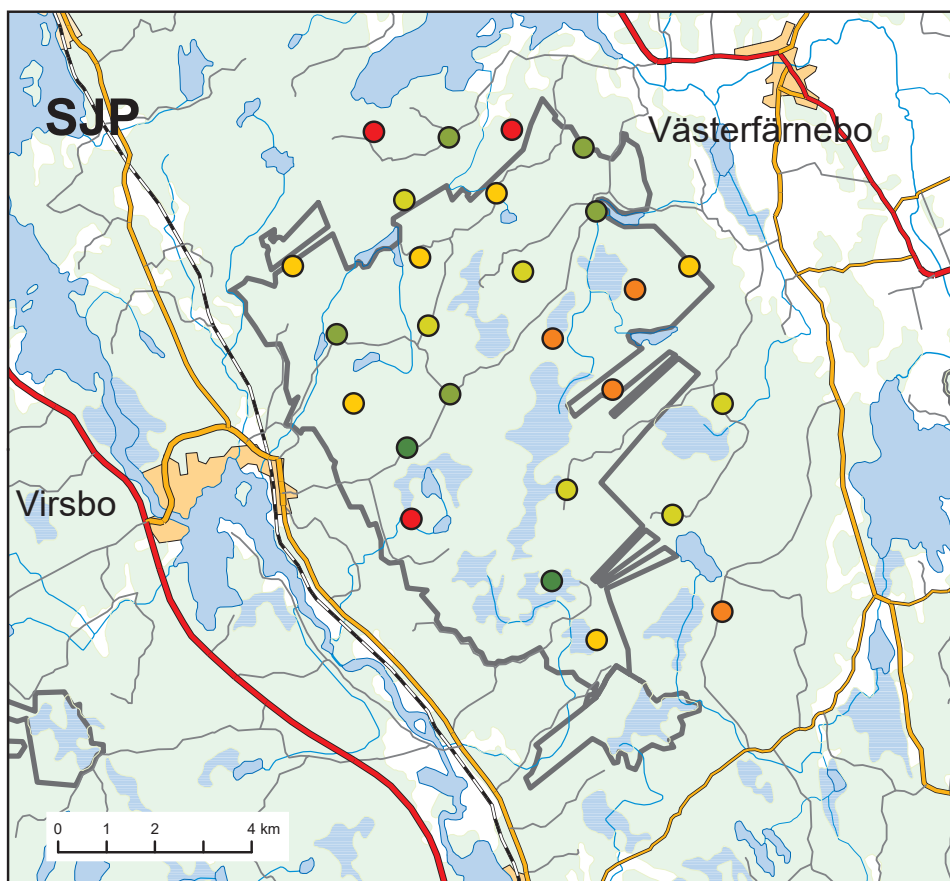
KJP

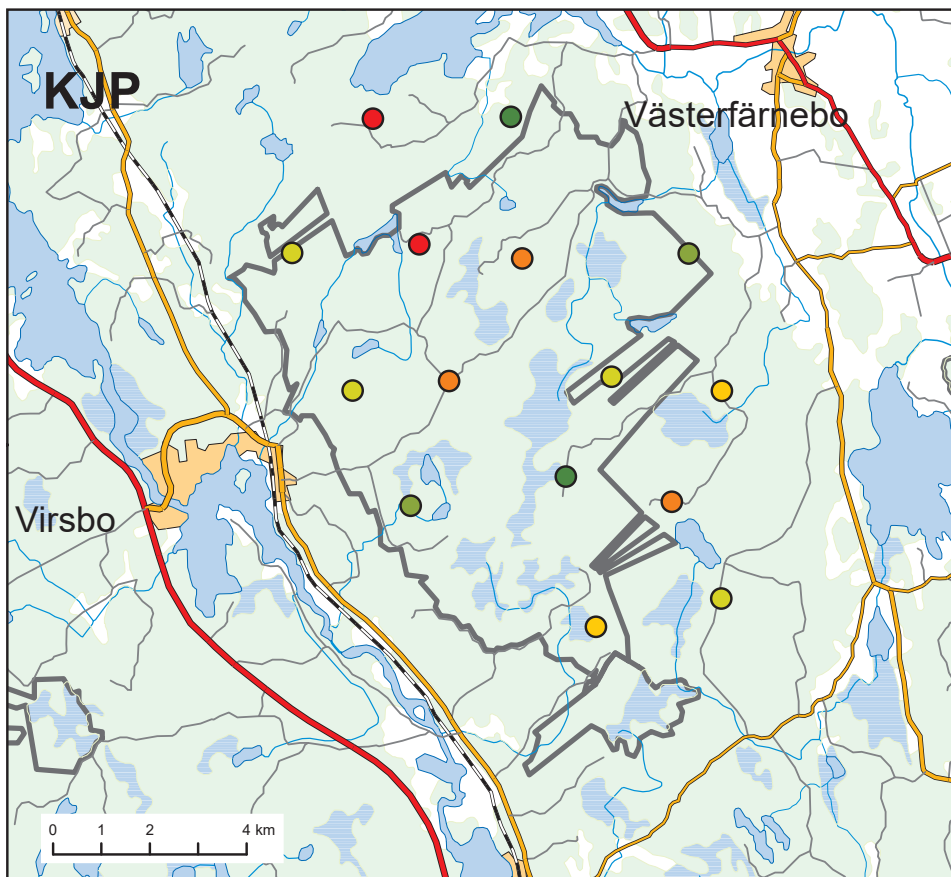
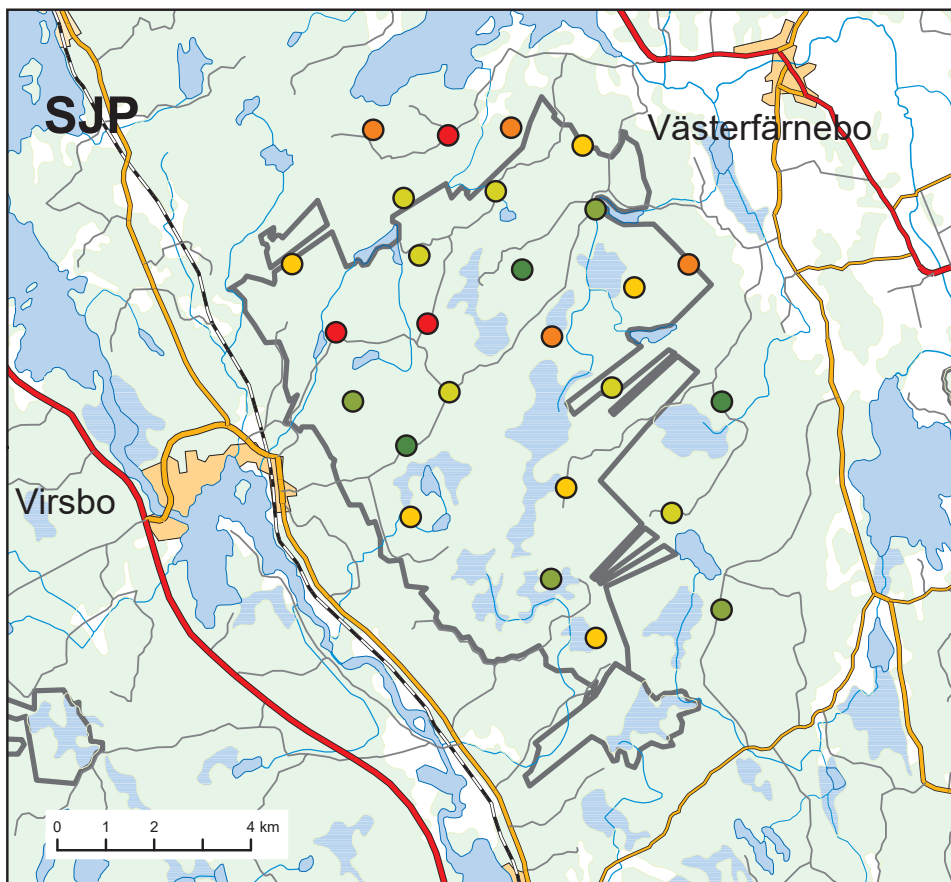
Sc ppm

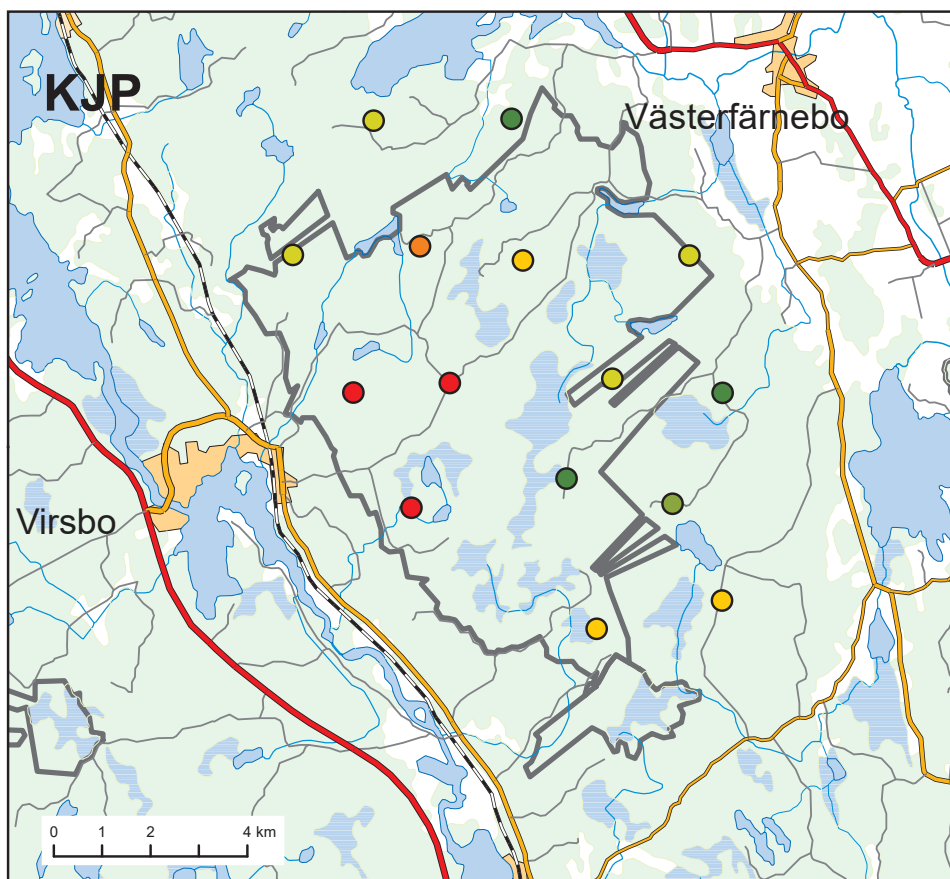
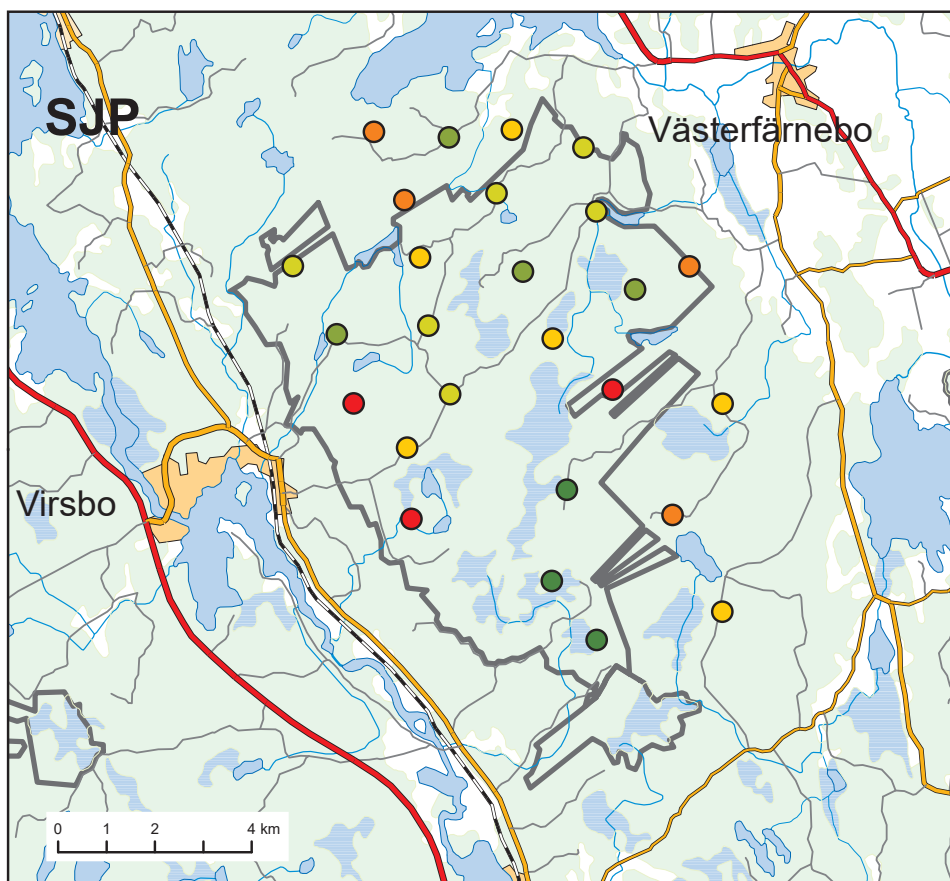
- >6,0
- 5,2 - 6,0
- 4,4 - 5,1
- 3,9 - 4,3
- 3,2 - 3,8
- <3,2

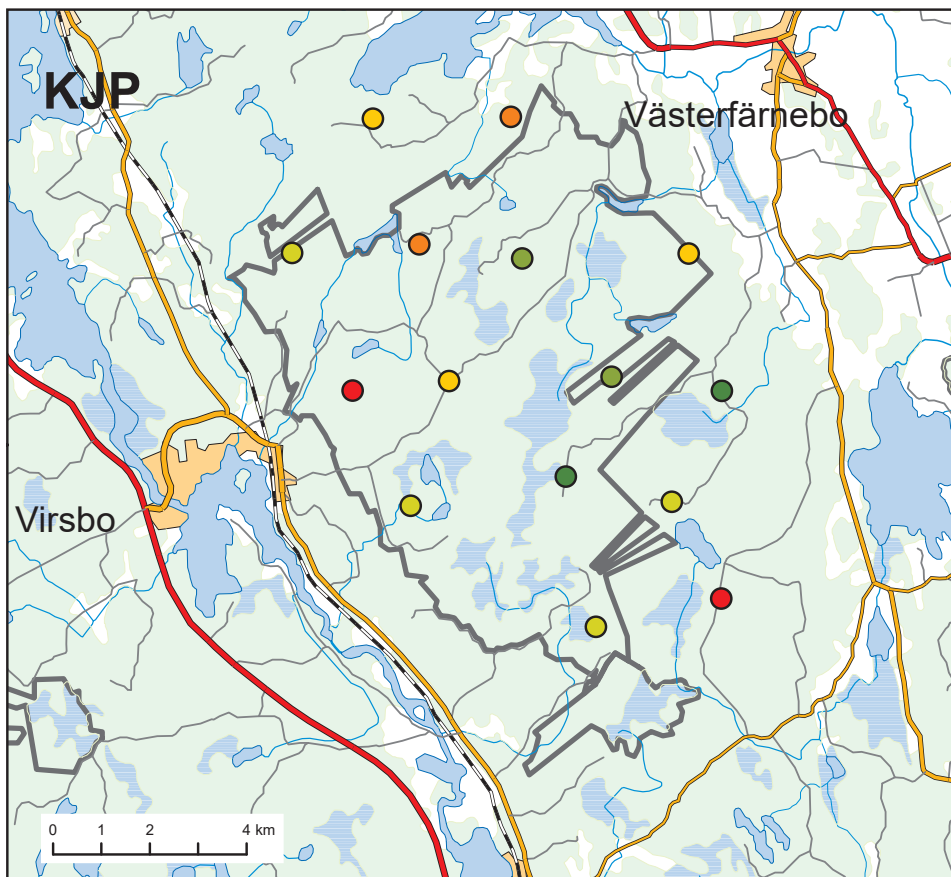
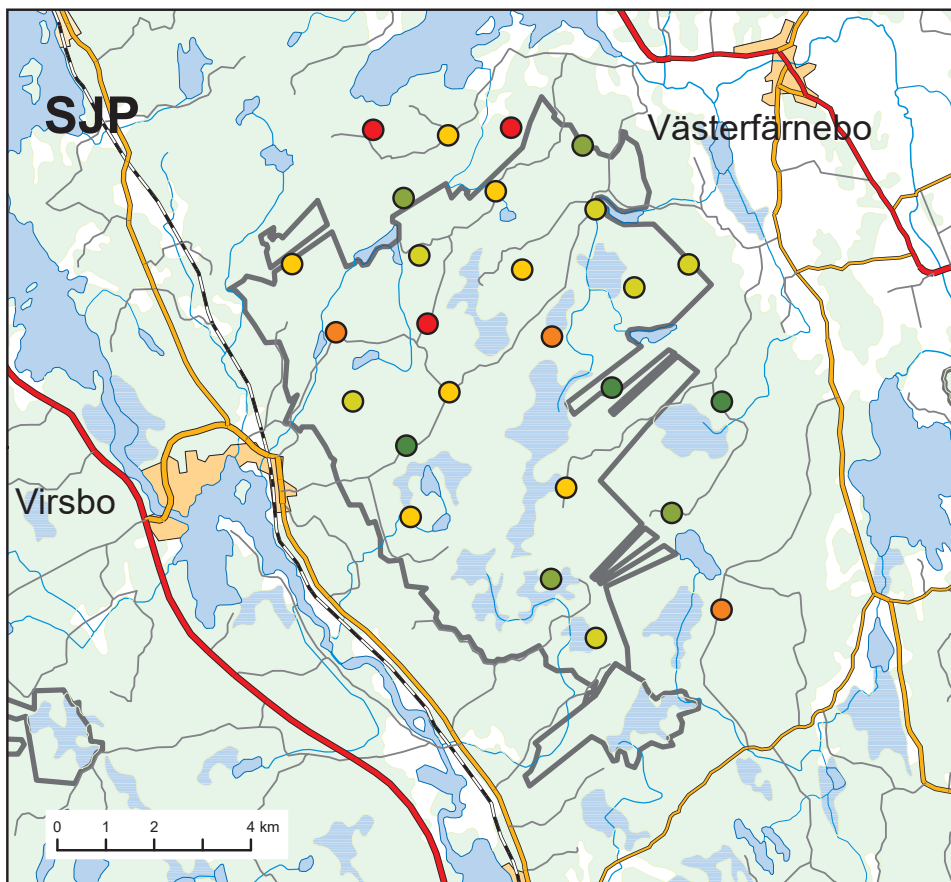


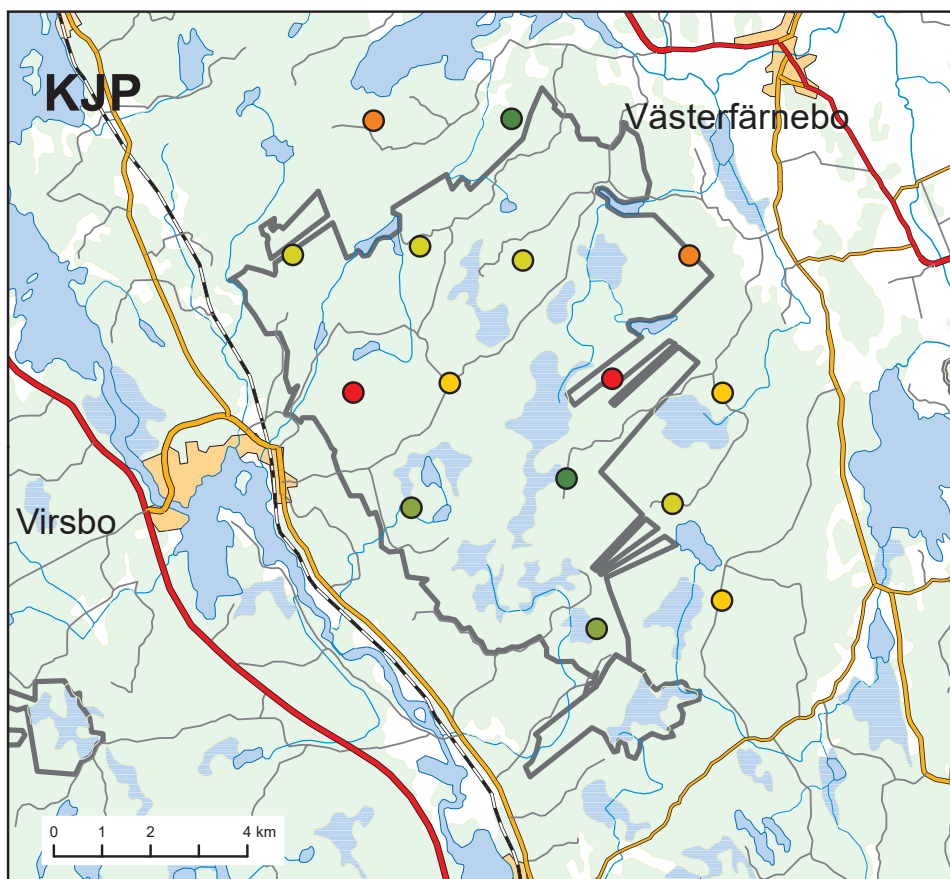
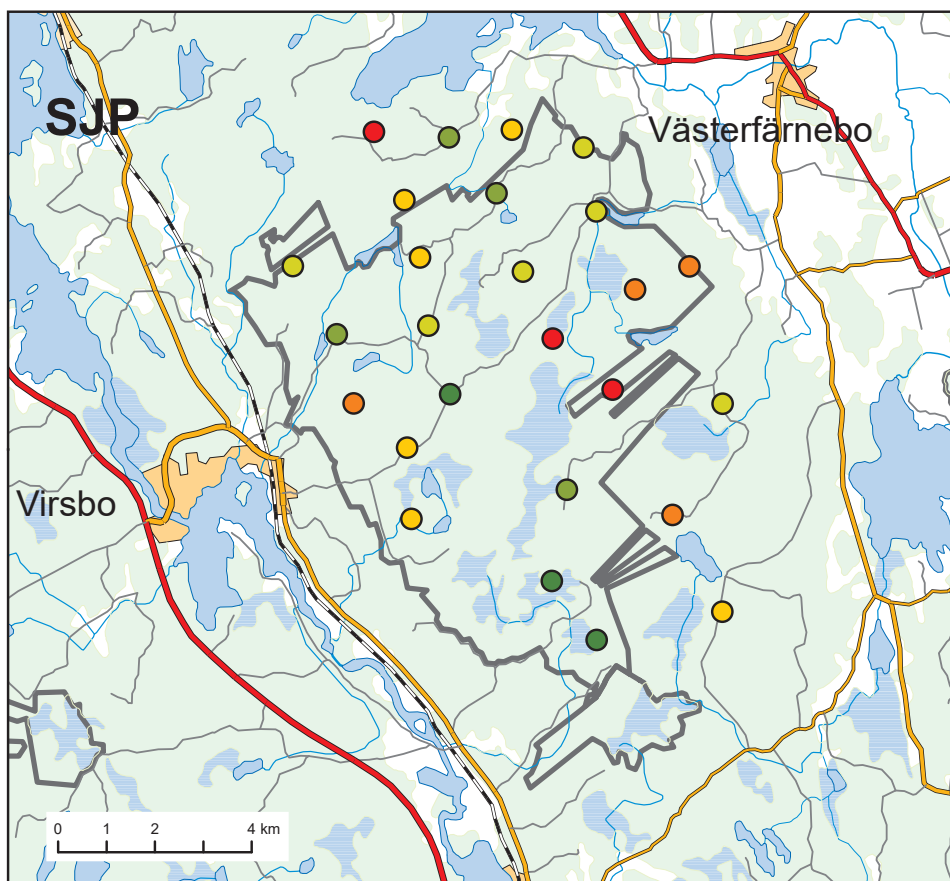


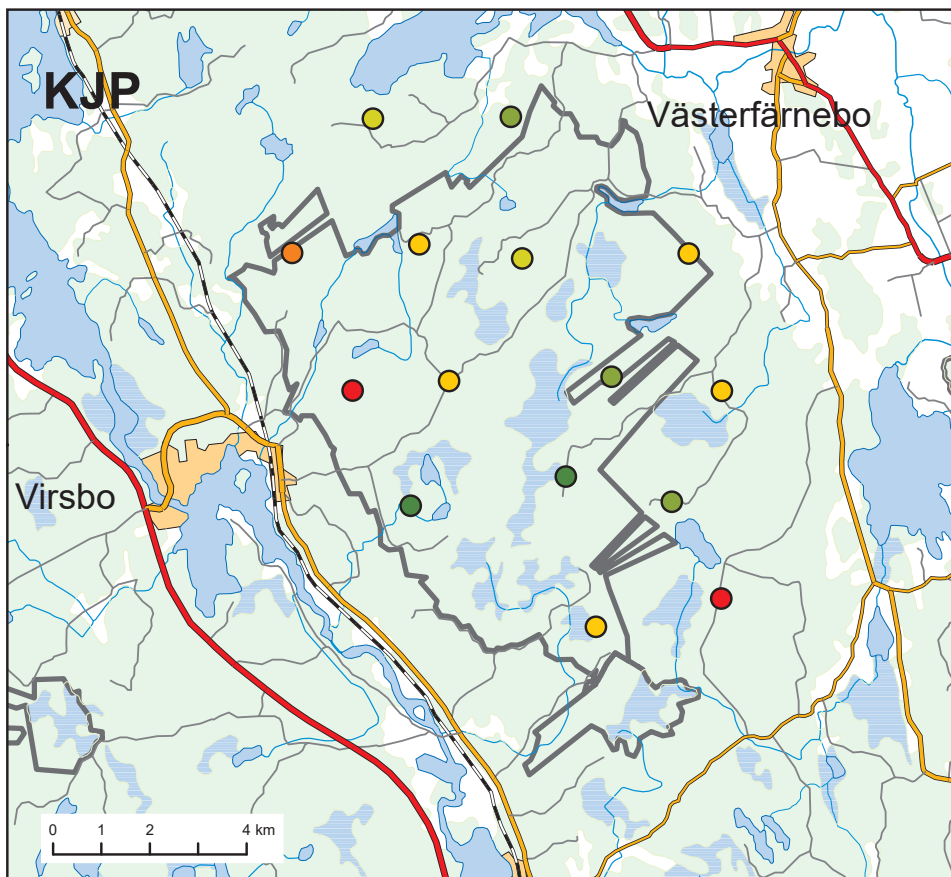
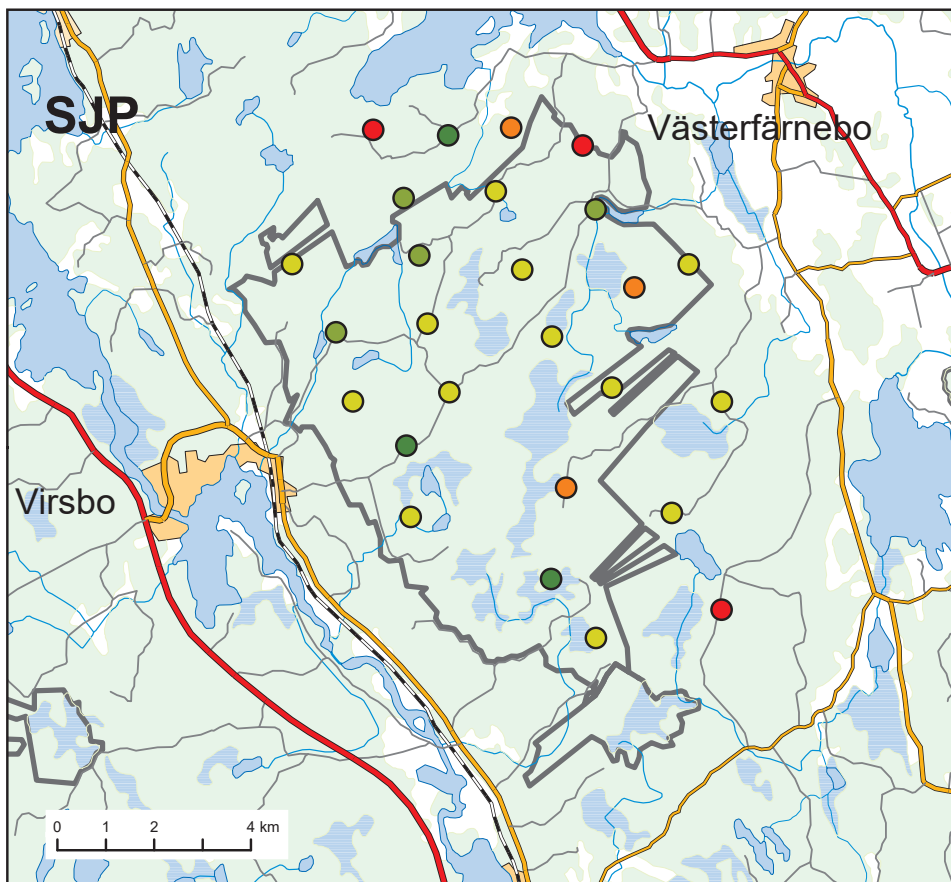


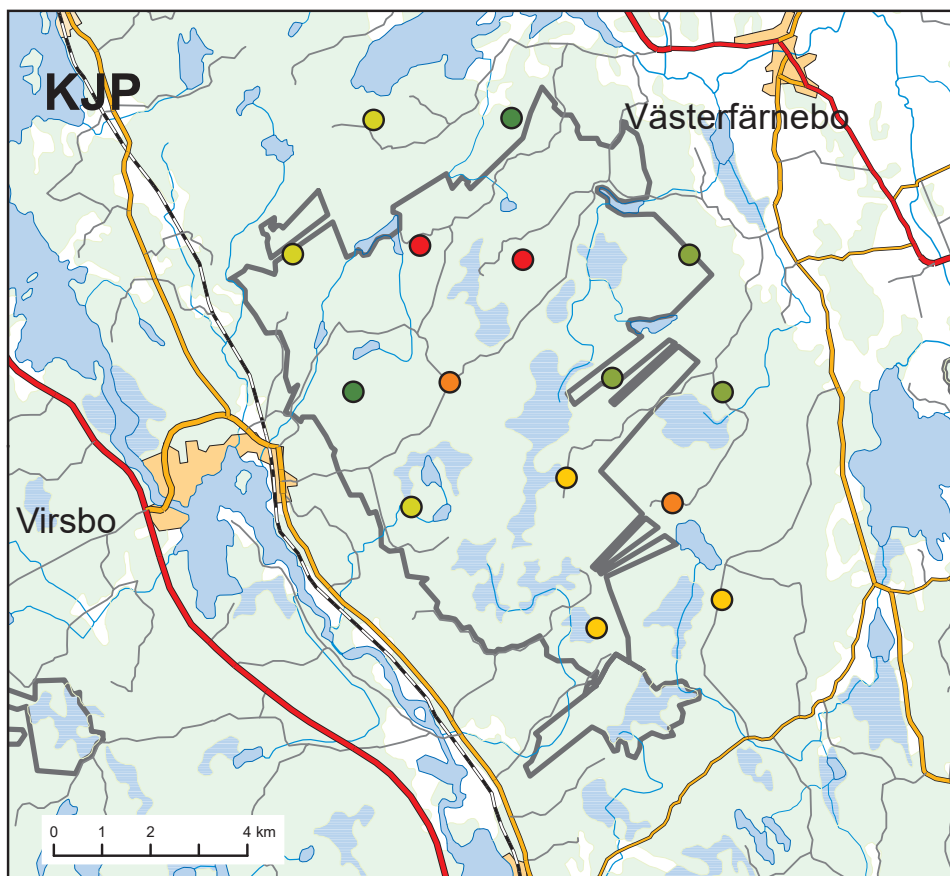
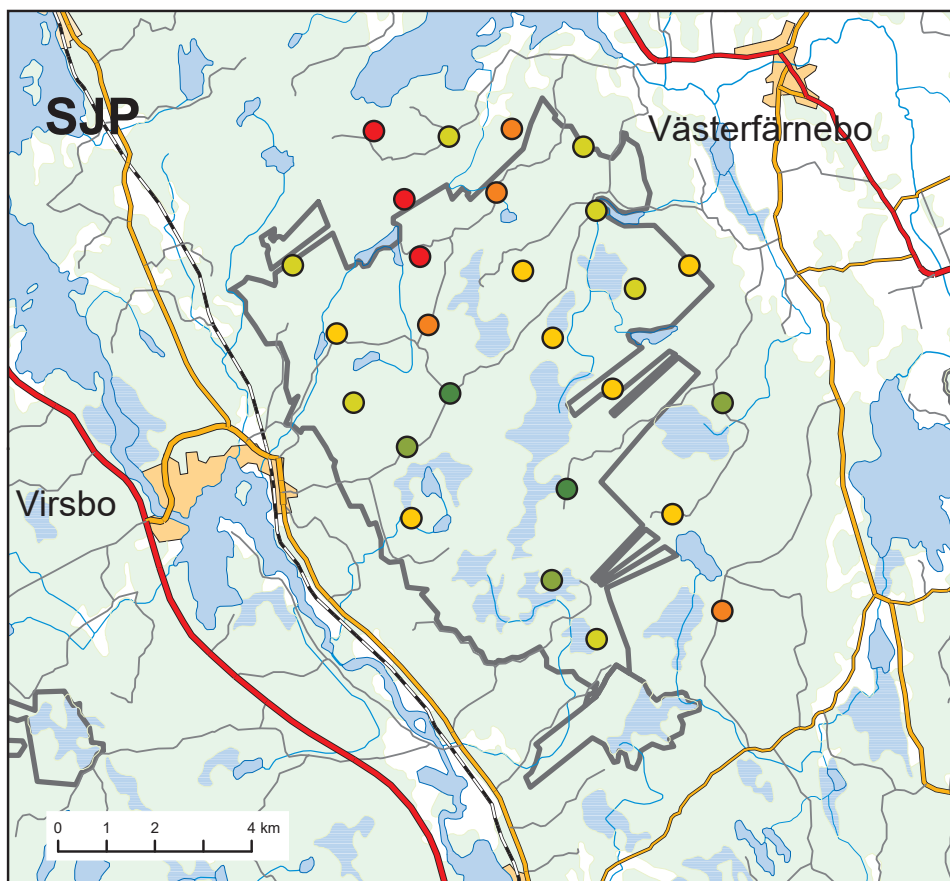


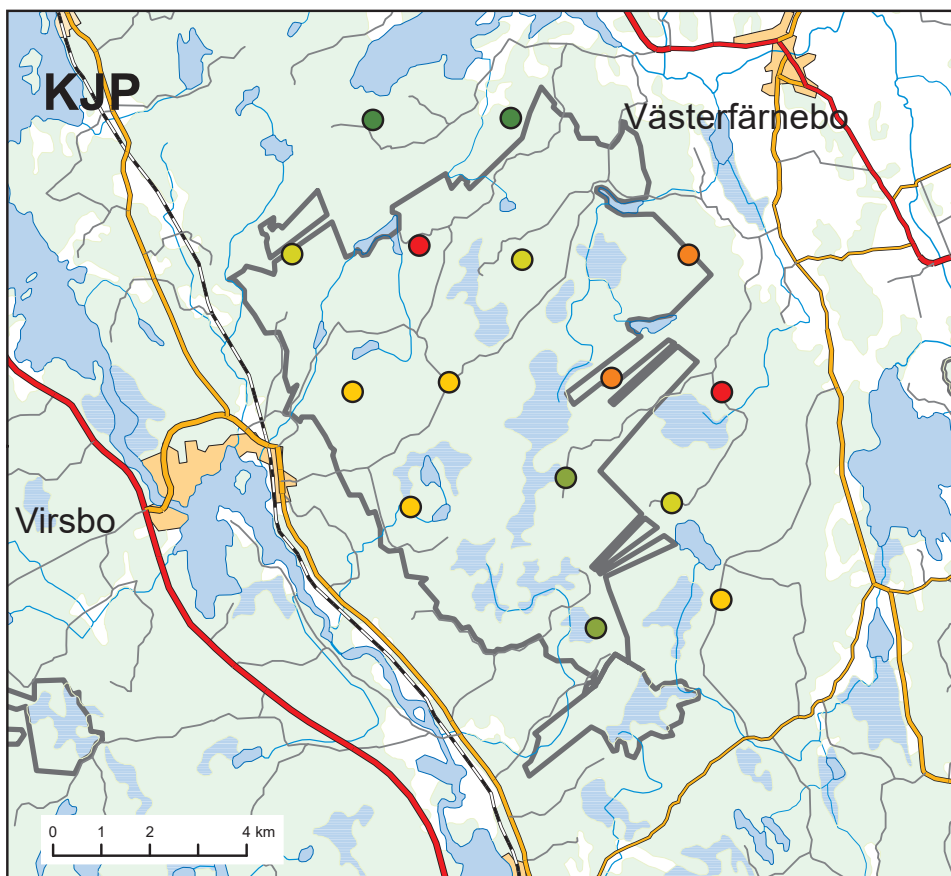
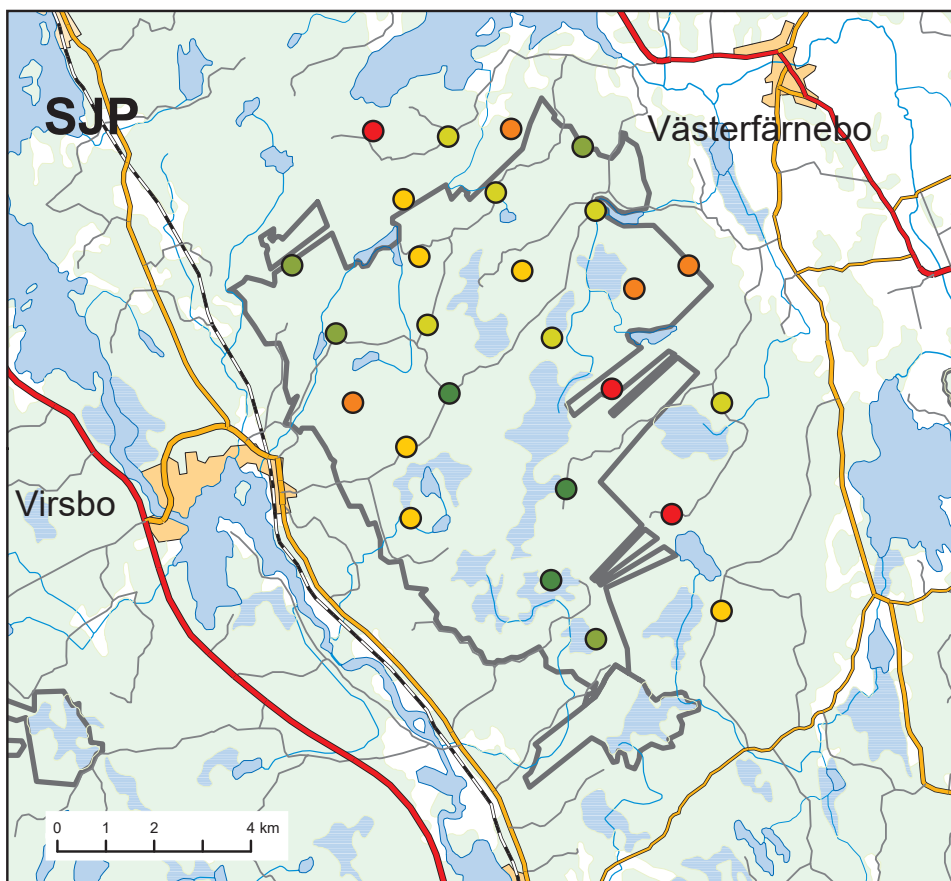


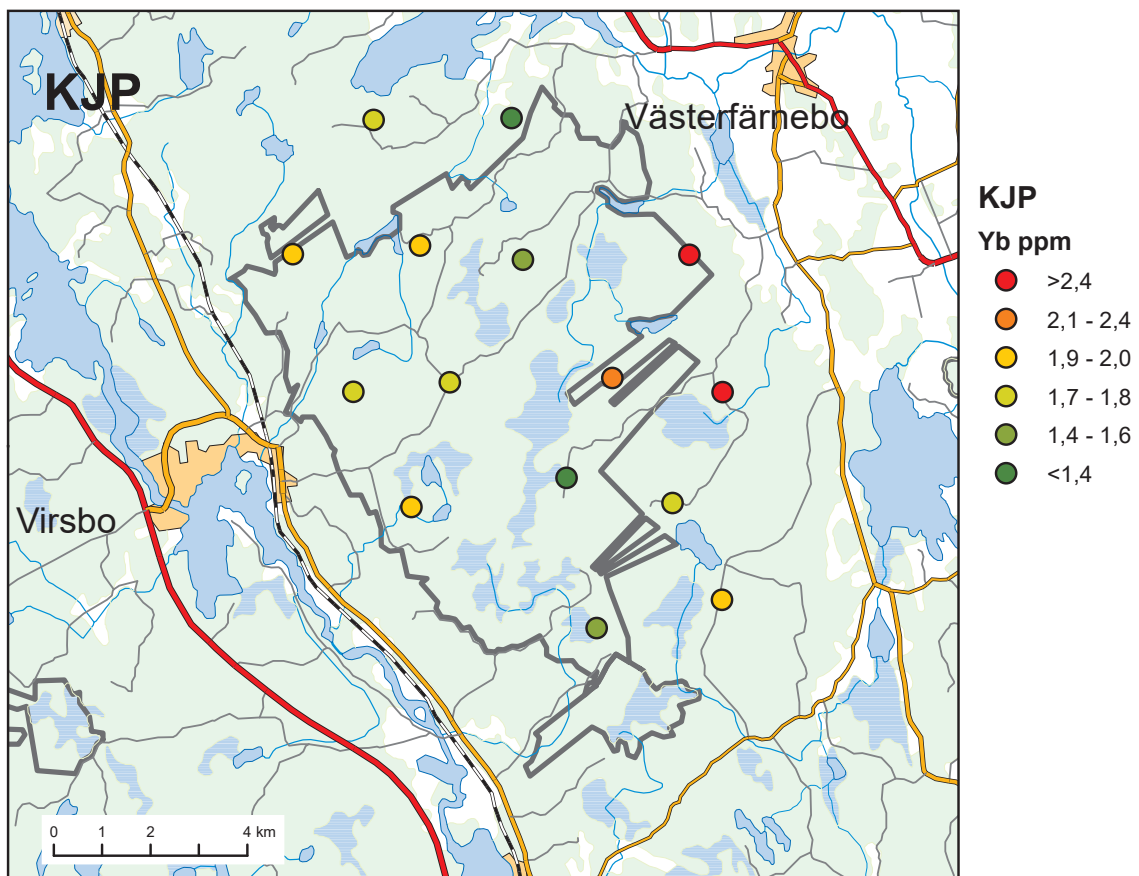
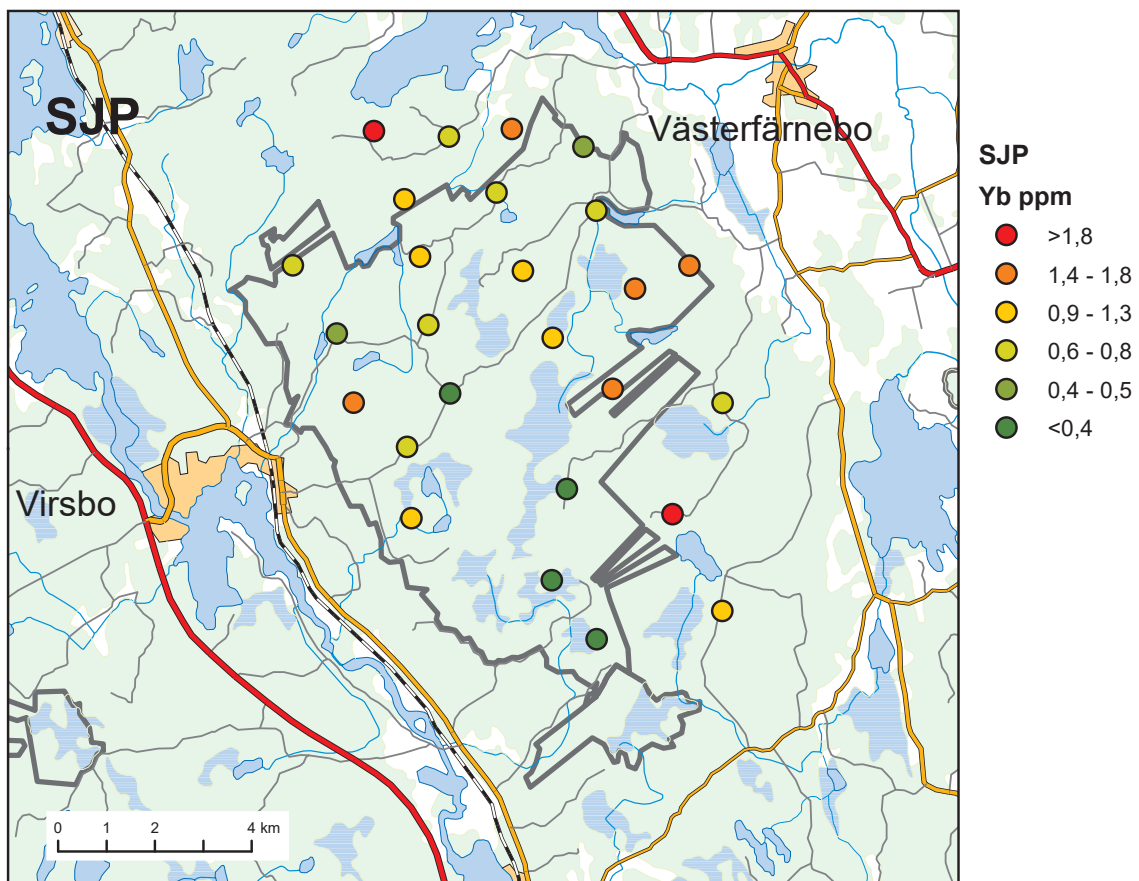


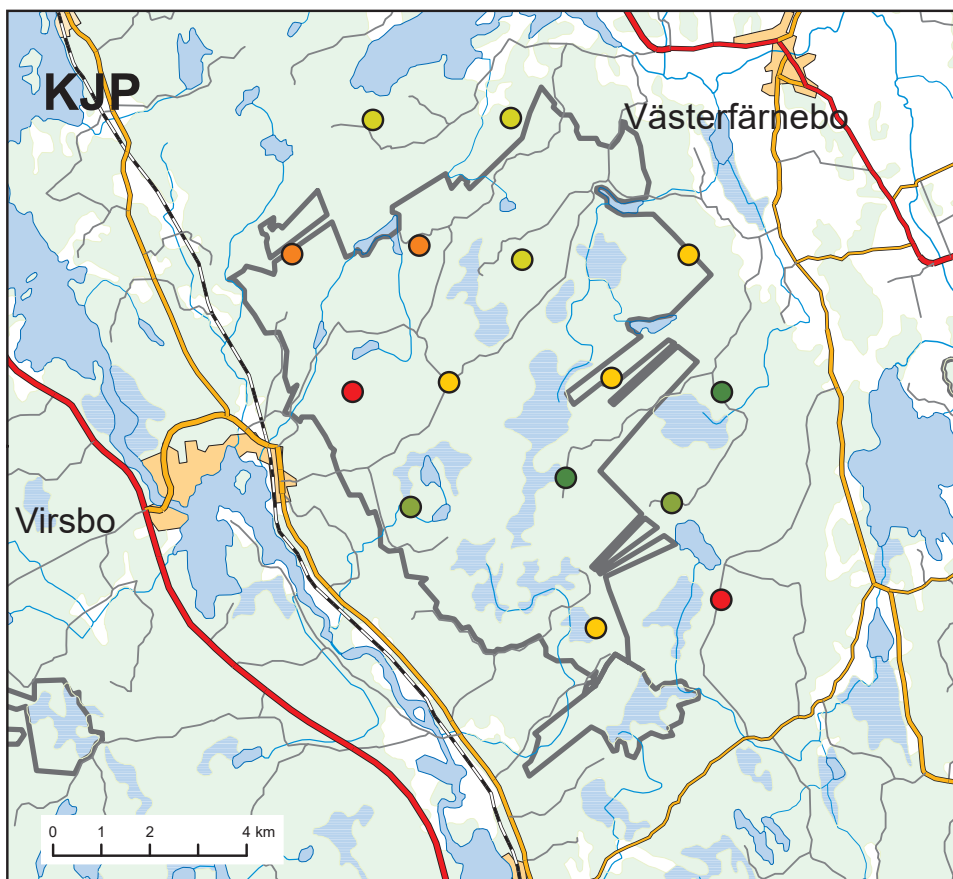
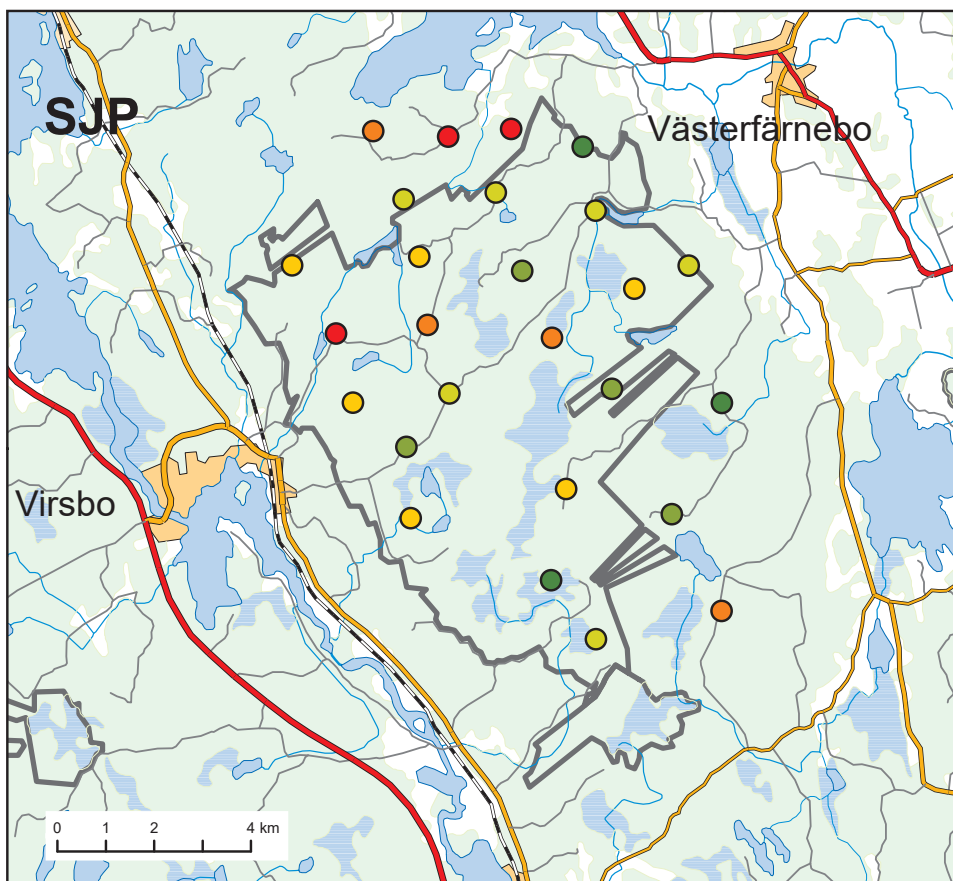


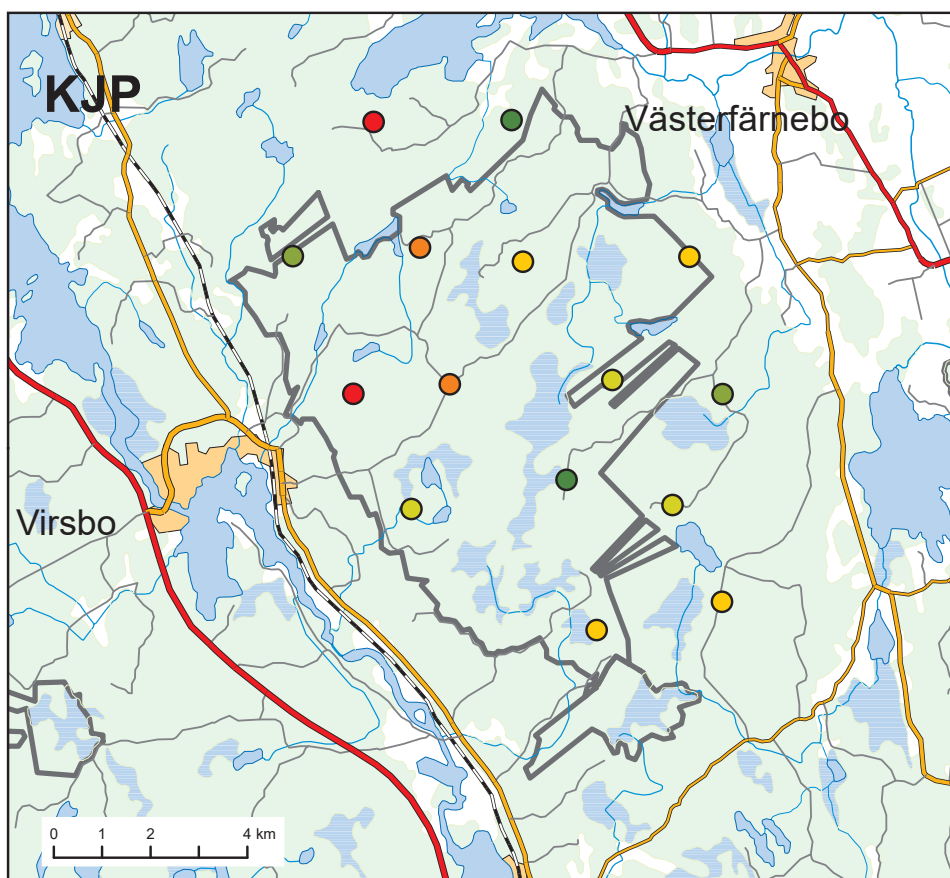
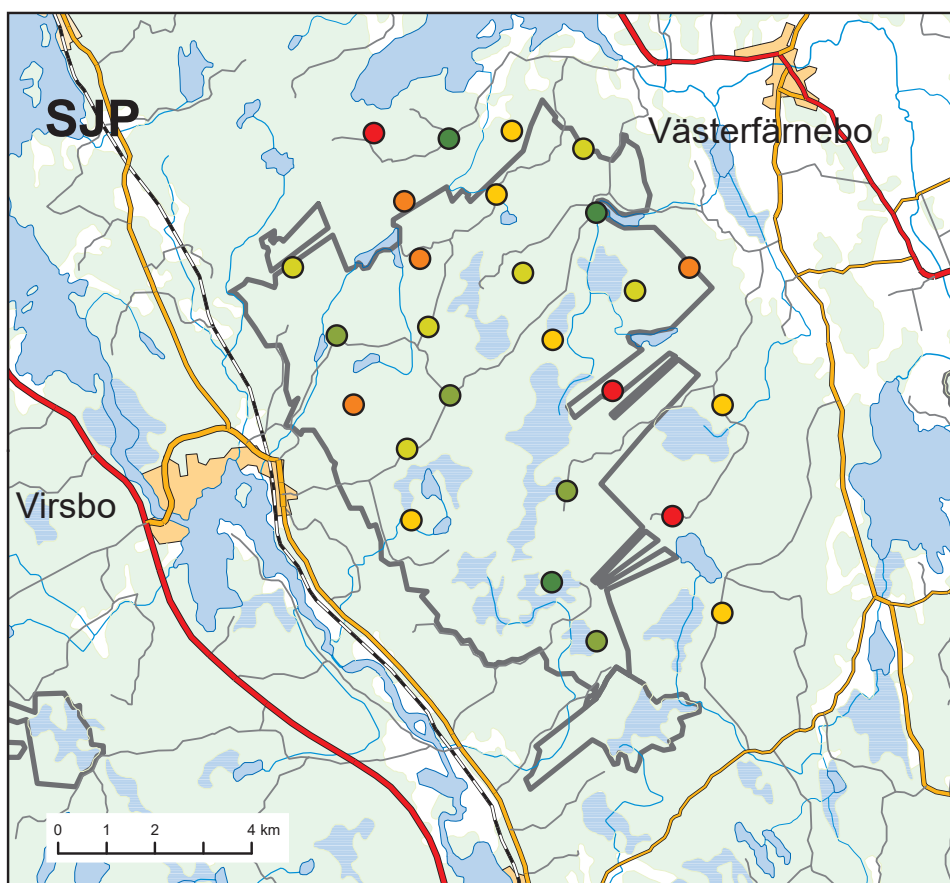












BILAGA 2. GEOKEMISKA KARTOR AV BÄCKVATTENVÄXTER OCH SKOGSJORD I HÄLLESKOGSBRÄNNAN

Geochemical maps of water plants and forest soil in Hälleskogsbrännan

Bilagan omfattar tolv kartor över förekomst av As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, U, V, W och Zn i bäckvattenväxter (BVV, rasterkarta, data från SGU) och skogsjord (SJP, symbol). Klassuppdelning till skogsjord baserar på 10:e, 25:e, 50:e, 75:e och 90:e percentilen. Klassuppdelning till rasterkarter med bäckvattenväxter visar 10:e, 30:e, 50:e, 70:e, 80:e, 90:e och 95:e percentilen. Bäckvattenväxter har analyserats med röntgenfluorescens (As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, U, V, W och Zn) och med salpetersyralakning kombinerat med AAS/ICPMS teknik (Cd och Se).

