

Sammenhenger mellom skogtyper, bonitet og jordkjemi i ulike makro klima regioner

Anna Martha Elgersma

Sammenhenger mellom skogtyper, bonitet og jordkjemi i ulike makro klima regioner

Anna Martha Elgersma

Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås, 1998
NIJOS rapport 16/98
ISBN 82-7464-147-7

Forsidefoto: NIJOS

Forord

Rapporten gir resultatene av et forskningsprosjekt som har vært fokusert på utviklingen av skogens økosystem og skogproduksjon på nasjonalt nivå. Data fra landsskogtakseringen og overvåkingen av skogens sunnhetstilstand ble brukt for å oppnå formålet.

Prosjektet må sees som en grunnleggende investering for videre forskning om prosesser som er viktig for utviklingen av skogtyper og skogproduksjon. Denne kunnskapen er nødvendig informasjon for overvåking av, og bærekraftig skogbruk, natur- og landskapsforvaltning.

Prosjektet er et samarbeidsprosjekt ved NIJOS og IBN-NLH (Institutt for Biologi og Naturforvaltning, Norges Landbrukshøgskole) og ble utført i 1997-1998. Prosjektet ble gjennomført Anna Martha Elgersma (NIJOS) og Shivcharn S. Dhillion (IBN-NLH). Prosjektet er finansiert ved Norges Forskningsråd, FoU, programmet Skog – miljø, industri og samfunn, og NIJOS.

Anna Martha Elgersma

prosjektleder

Sammendrag

Data fra landsskogtakseringen og overvåking av skogens sunnhetstilstand har blitt brukt for å se på trender i sammenhenger mellom skogtyper i produktiv barskog på podsoler, bonitet og jordkjemi i ulike makro-klima regioner.

Resultatene viser at korrelasjonen mellom skogtype og bonitet er ulike innenfor de forskjellige makro-klima regionene. Korrelasjonen mellom skogtype og bonitet er høyest i furu dominert skog i den sørboreale-mellomboreal regionen. Korrelasjonen mellom skogtype og jordkjemi er mest signifikant for basemetning, pH, ombyttbar asiditet og C/N forholdet, særlig i de sørboreale-mellomboreale og nordboreale regionene. Det gis høyere verdier for P, S, pH og basemetning for den samme skogtypen i de sørboreale-mellomboreale og nordboreale regionene sammenlignet med den nemorale-boreonemorale regionen.

Korrelasjoner mellom bonitet og jordkjemi innenfor de ulike regionene er mest signifikant for gran i de nemorale-boreonemorale og sørboreale-mellomboreale regionene. I den nordboreale regionen er korrelasjonen mellom bonitet og jordkjemi lavest.

Konklusjonen er at korrelasjoner i skogøkosystemet mellom bonitet, skogtype og jordkjemi er ulike innenfor de forskjellige klima regionene basert på regionale skogtyper. Det vil si at det er viktig å analysere dataene separat for hver region og at en regional inndeling etter skogtyper basert på vegetasjons økologisk grunnlag kan brukes som instrument i skogforvaltning.

Innhold

1 INNLEDNING	6
2. MATERIALE OG METODER.....	7
2.1 Valg av data.....	7
2.1.1 Felt og laboratorium metoder.....	7
2.1.2 Analysering av data.....	7
2.2 Skogtyper og klima gradienter.....	7
2.3 Skogtyper og jord gruppe	10
3. RESULTATER	12
3.1 Regionale skogtyper på podsol, bonitet og klima gradienter	12
3.2 Regionale skogtyper på podsoler, bonitet og næringsstoffer	13
3.2.1 Skogtyper og en næringsfattig - næringsrik gradient	13
3.2.2 Lyng- og blåbærskog og en temperatur gradient.....	16
3.2.3 Bonitet og næringsstoffer innenfor de ulike regionene	
4. DISKUSJON OG KONKLUSJONER.....	18

1 INNLEDNING

Klima, opphavsmateriale, hydrologi, topografi og tid er avgjørende faktorer for utviklingen av jordsmonnet og vegetasjonen (Jenny 1980, Fanta 1985). Påvirkningen fra skogforvaltningen på utviklingen av vegetasjon og jordsmonn er også av stor betydning og må betraktes som en spesiell faktor (Gigon, 1975). Temperatur, nedbør og lengde av vekstsesongen er essensiell for vegetasjonssammensetningen (Karrer 1992). Temperaturen er korrelert med høyde over havet og eksposisjon (Karrer 1992; Forstliche standortsaufnahme 1996). Opphavsmateriale og relieff har innflytelse på hydrologien som følge av ulik dreneringsgrad og fluktuering i grunnvannsstanden (Elgersma & Van Roon 1996; Meilleur et al. 1994; Rehfuss 1990).

Vegetasjonsregionene på nasjonalt nivå (Dahl 1986) er basert på forekomsten av treslagsarter. De regionene angir makro-klimatologiske forskjeller. Fremstad og Elven (1987) brukte disse vegetasjonsregionene som en parameter for å inkludere grove klimaforskjeller i deres klassifikasjonssystem.

Larsson (1991) bruker disse vegetasjonstypene (Fremstad & Elven 1987) som basis for en inndeling i regionale vegetasjonstyper. Hver hovedtype er inndelt i regionale vegetasjonstyper etter en temperatur- og nedbør-gradient. Temperaturgradienten inkluderer de nemorale-boreonemorale, sørboreale-mellomboreale og nordboreale regionene, og nedbør-gradienten omfatter de kontinentale, humide og oseaniske sonene. Denne inndelingen er basert på forekomsten av plantearter som indikerer det regionale klimatologiske forholdet mellom temperatur og nedbør.

En økning i høyde over havet eller en økende breddegrad viser at boniteten blir lavere innenfor samme hovedvegetasjonstype (Nilsen & Larsson, 1992).

Opphavsmaterialet er primært leverandøren til næringsstoffene i jordsmonnet. Forvittringsprosesser og de fysiske og kjemiske egenskapene av opphavsmaterialet bestemmer tilgjengeligheten av disse næringsstoffene. For eksempler vil podsoler på granitisk opphavsmateriale gi høyere P og K konsentrasjoner enn podsoler på silikatfattig sand (Kreuzer 1990).

I næringsstoffenes kretsloop, spiller organisk materiale en viktig rolle. Omdanning av dette materialet er en viktig prosess for levering av næringsstoffer. Omdannende prosesser er blant annet bestemt av klima (temperatur, fuktighet) og pH. Disse parameterne har stor innflytelse på de biologiske aktivitetene som er ansvarlig for mineralisering av næringsstoffene P, N og S. Omdanningen blir også bestemt av sammensetningen av det organiske materialet. Denne sammensetningen er avhengig av hvilke plantearter som har vokst, eller vokser på stedet. Organisk materiale fra lyng, tyttebær, furu og gran er surt og inneholder mye lignin; lignin kontrollerer mineraliseringen (Berendse et al. 1987). Moser har også mye lignin, og forsinker mineraliseringen (Berg 1984). Slike forhold i samspill med jordegenskaper stimulerer podsoleringsprosesser (Elgersma 1994). Omtrent 50 % av barskog i Norge er funnet på podsoler (Nyborg & Esser 1992).

Det organiske sjiktet i barskog på podsoler hadde en høyere pH, basemetning og base kationer konsentrasjoner i nord Norge enn i sør Norge. Ombytbar asiditet var lavere i nord Norge (Esser & Nyborg, 1992). Basemetning øker med en økning i organisk materiale i sør og sørvest Norge, men ble lavere i nord Norge (Steinnes et al. 1993).

Tilgjengelighet, opptak av næringsstoffer og bonitet kan variere innenfor de ulike vegetasjonstypene, og er bestemt av lokaliteten. Lokaliteten er også påvirket av klima.

Målet med dette prosjektet har vært å se på sammenhengen mellom vegetasjonstyper, bonitet og jordkjemi innenfor ulike klimatologiske forhold.

2. MATERIALE OG METODER

2.1 Valg av data

For å få innsikt i sammenhengen mellom vegetasjon, bonitet og jordkjemi på nasjonalt nivå ble data fra Landsskogtakseringen og Programmet overvåking av skogens sunnhetsstilstand brukt. Disse dataene ligger i NIJOS' databank.

Disse feltdataene har blitt innsamlet på de faste lands representative overvåkingsflatene i NIJOS' 9x9 km rutenett.

Følgende variabler ble valgt: *skogsbestand*: bonitet (H40-metode, Tveite & Braastad 1981), alder, bonitetstre, bestandstreslag, vegetasjonstype; *jordsmonn*: pH-CaCl₂, ombyttbar asiditet (Al+H), basekationer (Ca, K, Mg, Na), N_{tot}, P-Al, S, C_{org}, jordtype, KAK og basemetning (katione bytte kapasitet (KAK) og basemetning ble beregnet).

Flatene utvalgt for analysering ligger i produktiv skog i hogstklassene III-V på podsol. Totalt antall flater var 606, hvorav 301 flater har en podsol. Jordprøvene ble tatt i perioden 1988-1992.

2.1.1 Felt og laboratorium metoder

Feltmetoder for innsamling av skogsdata er beskrevet i Feltinstruks (1995). Vegetasjonstyper ble bestemt etter vanlige og dominerende forekomster av arter (Larsson 1991). Jordtyper er bestemt etter det 'Canadian Soil Classification' systemet (1986). Feltmetode for prøvetaking av jord og laboratoriummetoder for analysering av jordprøvene er beskrevet i Esser & Nyborg (1992).

2.1.2 Analysering av data

Trender i relasjoner mellom vegetasjon, jordkjemi og bonitet har vært analysert på nasjonalt nivå. Analysene ble utført for de regionale vegetasjonstypene innenfor de ulike regionene (Larsson 1991) for å få tak i hvilken innflytelse klimaet har på de forskjellige parameterne (se 2.2). Innenfor hver region ble de regionale vegetasjonstypene inndelt etter en næringsgradient (Larsson 1991, 1998). Sammenhengen mellom denne gradienten, bonitet og jordkjemi i humus sjiktet ble analysert for hver region i den kontinentale sonen. I lyng og blåbærskog er sammenhengen også analysert mellom bonitet, jordkjemi og temperatur for både furu og gran. Slike analyser har ikke vært mulig å gjennomføre for de andre vegetasjonstypene på grunn av et for lite antall prøveflater.

Vegetasjonstypene kalles skogtyper i de følgende kapitlene.

Kendall's τ og Spearmans rank coefficient r_s ble brukt for statistiske analyser.

2.2 Skogtyper og klima gradienter

Grupperingen av skogtypene innenfor den næringsfattige - næringsrike gradienten er i rekkefølge: lav-, lyng-, blåbær-, småbregne-, lågurt- og høgstaudeskog (Tabell 1, Larsson 1991). I gradienten er lavskog mest næringsfattig og høgstaudeskog mest næringsrik. Sump- og myrskog er en spesiell gruppe og er ikke tatt med i gradienten. Tabell 1 viser at de mest næringsfattige skogtypene er dominert av lav- og lyngarter. De næringsrikere skogtypene domineres av gress og urter.

Inndelingen av skogtypene etter Larsson (1991) angir en makrotemperatur- og nedbørsgradient. Temperaturgradienten går fra den nemorale-boreonemorale, den sørboreale-mellomboreale til den nordboreale regionen, og nedbørgradienten fra den kontinentale til den humide og den oseaniske sonen.

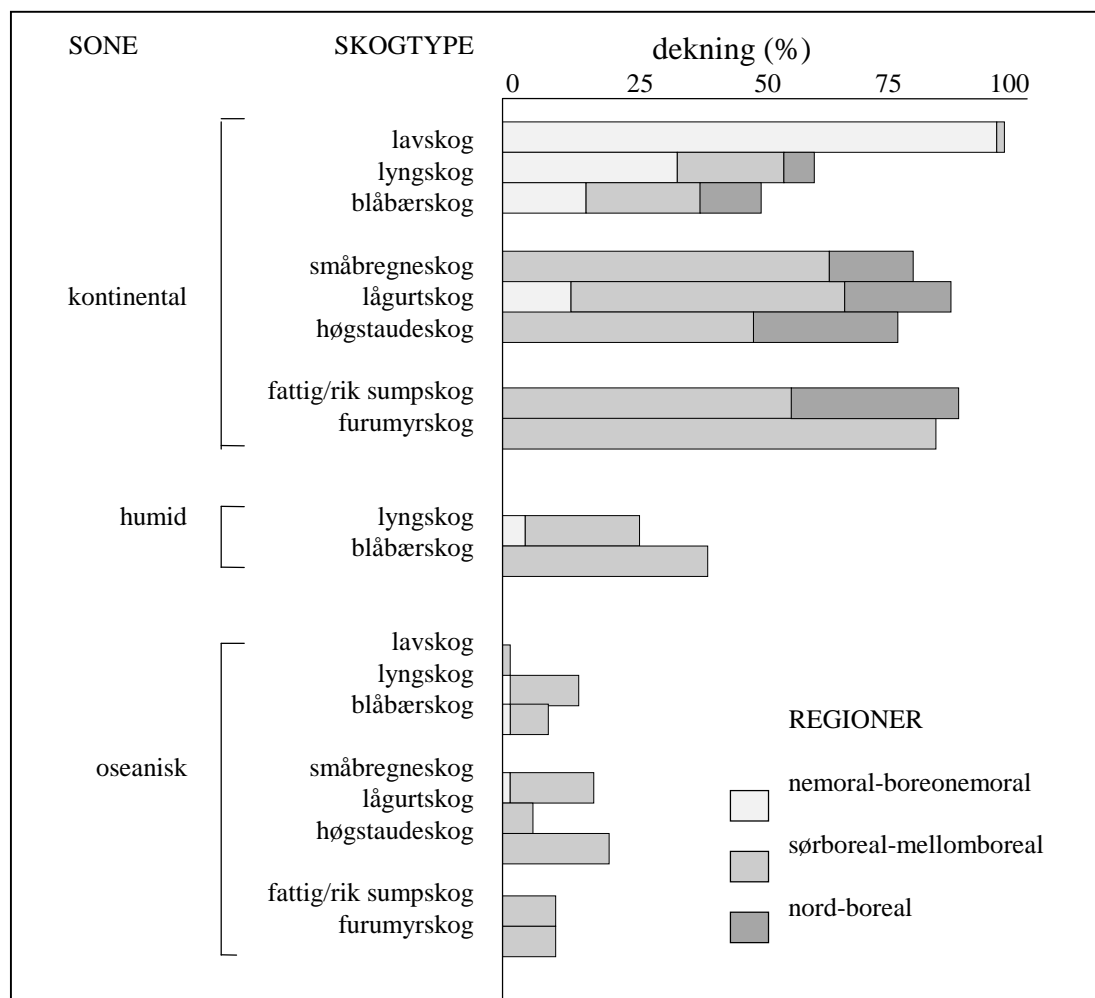
For å unngå at forskjeller i temperatur og nedbør får (for) stor innvirkning på boniteten innenfor en skogtype, ble de regionale skogtypene valgt som utgangspunkt for analysering av sammenhengen mellom vegetasjon, bonitet og jordkjemi.

Skogtypene er ulikt fordelt over klimasoner og vegetasjonsregioner (Figur 1). Figuren viser distribusjonen av de dominerende vegetasjonstypene innenfor de forskjellige regionene og sonene. Skogtypene er fordelt i 3 grupper. Første gruppen (lav-, lyng- og blåbærskog) er dominert av lav eller lyngarter. Den andre gruppen (småbregne-, lågurt- og høgstaudeskog) har mer bregner, gress og urter og den tredje gruppen omfatter myr og sump vegetasjon. Alle gruppene forekommer i den kontinentale sonen. I denne sonen dominerer gruppe 2 og 3 i den sørboreale-mellomboreale regionen. Lavskog dominerer i den nemorale-boreonemorale regionen. Lyng- og bærskog er forekommer i alle regioner. Den humide sonen har kun lyng- og blåbærskog. Alle gruppene forekommer i den oseaniske sonen, hovedsakelig i den sør-mellomboreale regionen.

Gråor-hegge, blåbær-eikeskog og kalkfuruskog, som omfatter omtrent 3 % av overvåkingsflater i produktiv skog, ble ikke tatt med i inndelingen av klimagradienter.

næringsfattig	SKOGTYPER					næringsrik
	lavskog	lyngskog	blåbærskog	småbregneskog	lågurtskog	
trear/busker:	<u>Furu</u> <u>Dunbjørk</u>	<u>Furu</u> <u>Dunbjørk</u> <u>Gran</u>	<u>Furu</u> <u>Dunbjørk</u> <u>Gran</u>	<u>Gran</u> <u>Dunbjørk</u> <u>Rogn</u>	<u>Furu</u> <u>Gran</u> <u>Dunbjørk</u> <u>Hassel</u> <u>Lønn</u> <u>Rogn</u>	<u>Gran</u> <u>Dunbjørk</u> <u>Gråor</u> <u>Grønnvier</u> <u>Svartvier</u>
lavarter:	<u>Lys reinlav</u> <u>Grå reinlav</u> <u>Kvitkrull</u> <u>Islandslav</u> <u>Sattlav</u>	<u>Grå reinlav</u> <u>Grønnvev</u>	-	-	-	-
lyngarter:	<u>Røsslyng</u> <u>Tyttbær</u> <u>Blåbær</u> <u>Fjellkrekleng</u> <u>Mjølber</u>	<u>Tyttbær</u> <u>Blåbær</u> <u>Fjellkrekleng</u>	<u>Tyttbær</u> <u>Blåbær</u>	<u>Blåbær</u>	<u>Blåbær</u>	-
moser:	<u>Furumose</u> <u>Krussigdmose</u> <u>Kjenpesigdmose</u> <u>Hcigråmose</u>	<u>Furumose</u> <u>Krussigdmose</u> <u>Elasjemose</u>	<u>Elasjemose</u> <u>Blanksigdmose</u> <u>Prakthinemose</u> <u>Fjærmose</u>	<u>Elasjemose</u> <u>Rosettmose</u> <u>Grantorvmose</u> <u>Lyngtorvmose</u>	<u>Storramsrose</u>	<u>Skogfagermose</u>
grasarter:	-	<u>Smyle</u>	<u>Smyle</u> <u>Engkvein</u> <u>Skogrørkvein</u> <u>Gulaks</u>	<u>Smyle</u> <u>Engkvein</u> <u>Skogrørkvein</u> <u>Gulaks</u>	<u>Smyle</u> <u>Snærørkvein</u> <u>Hengeaks</u> <u>Fingerstar</u>	<u>Sølvbunke</u> <u>Skogrørkvein</u> <u>Myskegras</u>
urter/ ferm:	-	<u>Linnea</u> <u>Furuvintergrønn</u> <u>Knerot</u> <u>Skogjannic</u>	<u>Maiblom</u> <u>Skogsjerne</u> <u>Nikkevintergrønn</u> <u>Fugleteig</u> <u>Sauteig</u> <u>Stri kråkefot</u>	<u>Gaukesyre</u> <u>Hvitveis</u> <u>Skogsjerne</u> <u>Sundmarinjelle</u> <u>Fugleteig</u> <u>Smørteig</u> <u>Sauteig</u>	<u>Gaukesyre</u> <u>Skogfiol</u> <u>Skogsveve</u> <u>Markjordbær</u> <u>Legeveronika</u> <u>Knullerte knapp</u> <u>Blåveis</u> <u>Ornreteig</u>	<u>Ballblom</u> <u>Enghumleblom</u> <u>Mjødurt</u> <u>Samphaneskekjegg</u> <u>Turt</u> <u>Tyrhiblom</u> <u>Skogburkne</u> <u>Hengevein</u>

Tabell 1. Skogtyper og de vanlig forekommende artene (dominerende arter er understreket). Skogtypene er ordnet langs en næringsfattig - næringsrik gradient. For fullstendig liste fra arter se Larsson (1991 og 1998).



Figur 1. Fordeling (% av antall flater) av de mest forekommende skogtypene i ulike klimasoner (nedbør gradient) og regioner (temperatur gradient).

2.3 Skogtyper og jordgruppe

En og samme skogtype kan forekomme på flere jordgrupper (tabell 2). En jordgruppe er en serie med nærbeslektede jordtyper. I tabellen er alle registrerte skogtypene inkludert. Lyng- og blåbærskog og de rikere granskogtypene dominerer i podsolgruppen. De fleste på podsoler med lavt eller moderat innhold av amorft organisk material i B-sjiktet (Humo-Ferric podzol), og minst på podsoler med høyt innhold av organisk materiale i B-sjiktet (Ferro-Humic Podzol). Ferro-Humic Podzol er typisk for humide regioner der skogtyper domineres av lyng og mose arter. Humo-Ferric Podzol finnes i både humide og tørre regioner, og forekommer under forskjellige vegetasjonstyper, så vel under bar-, blandings- som lauvskog (The Canadian System of Soil Classification 1987). Nest største jord gruppen under lyng-, blåbær og de rikere skogtypene er Brunisol. Skogtypene finnes mest på Dystric Brunisol og i mindre grad på en Sombric-Brunisol. Dystric Brunisol har et lite utviklet Ah-sjikt mens Sombric-Brunisol har et godt utviklet Ah-sjikt. Lavskog har størst utbredelse på Dystric Brunisol (48%). Kalkfuru-og gråorheggeskog finnes på Melanic- og Eutric-Brunisol. Disse 2 sub-grupper har en høyere basemetning og pH enn alle andre jord grupper i tabell 1. Gleysol dominerer i de

fattigere skogtypene. De rikere skogtypene er dominert av Humic Gleysol. Forskjellen mellom Humic Gleysol og Gleysol er at Humic Gleysol har et Ah-sjikt som mangler i Gleysol.

Regosol finnes under alle grupper unntatt myr- og sump vegetasjon. Regosol kjennetegner et manglende eller svakt utviklet jordsmonn.

Humic Mesisol, jord som er dannet av organisk material, dominerer i sump- og myrskog. De andre jordgruppene i myr- og sumpskog har et tykt organisk sjikt. Også en del av lyng- og blåbærskog finnes på organisk jord av Humic Mesisol, men ligger for de meste på Humic Folisol. Humic Folisol tilhører også orden av organisk jord, men det organiske materialet ligger på fjell eller på andre opphavsmaterialer.

Tabell 2. Oversikt av de skogtypene fordelt over jord sub-grupper (n = antall prøveflater/jor sub-gruppe; %= del av vegetasjonstyper per jord gruppe).

JORDGRUPPE	SKOGTYPER							
	<i>næringsfattig</i>				<i>næringsrik</i>		<i>organisk</i>	
	lavskog		lyng- og blåbærskog		småbregne-, storbregne-, kalkfuru-, lågurt-, rik lagurt-, høgstaude-, gråorhegge-, blåbær-eikeskog		fattig/rik sump-, furumyrskog	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Dystric Brunisol	18	48	60	17	13	8	3	7
Sombric Brunisol	-		11	3	11	7	2	5
Melanic/Eutric Brunisol	-		-		6	3	-	
Gleysol	2	5	21	6	6	4	7	17
Humic Gleysol	-		6	2	11	6	-	
Humic Folisol	2	2	24	10	5	3	1	2
Humic Mesisol	-		13		3	2	24	59
Ferro Humic Podzol			38	11	20	12	2	5
Humo-Ferric Podzol	10	26	144	40	85	50	2	5
Regosol	7	19	38	11	10	5	-	
Total (n ; %)	39	100	355	100	170	100	41	100

For analysering av korrelasjonen mellom regionale skogtyper og jordkjemi og mellom bonitet og jordkjemi, ble kun prøveflater på podsoler brukt. Ingen korrelasjon mellom skogtyper og andre jord typer er analysert på grunn av et for lite antall prøveflater for å gjennomføre statistiske analyser. De andre jordgruppene har ikke nok prøveflater innen de forskjellige regionene og klima sonene. For å finne sammenhengen mellom jordkjemi, skogtype og bonitet, kan jord grupper ikke bli slått sammen, fordi jordsmonn dannende prosesser er forskjellige for de ulike jordgruppene.

3. RESULTATER

3.1 Regionale skogtyper på podsol, bonitet og klima gradienter

Sammenhengen mellom de regionale skogtypene og bonitet er i alle tilfeller signifikant, men i de fleste tilfellene ikke høy. Tabell 3 viser korrelasjonen mellom bonitet og skogtyper. I tabellen er skogtypene gruppert etter den tidligere nevnte gradienten i næringstilstand innenfor de ulike regionene i den kontinentale sonen. Gradienten viser en liten forskjell i skogtypene i de nemorale-boreonemorale og sør- og mellomboreale regionene. Småbregne- og høgstaudeskog mangler i den nemorale-boreonemorale regionen, og lavskog mangler i den sørboreale-mellomboreale regionen. Det er også forskjeller i forekomsten av furu og gran dominerte skogtyper. Gran mangler i lavskog i den nemorale-boreonemorale regionen, og furu mangler i høgstaudeskog i den nemorale-boreonemorale og sørboreale-mellomboreale regionen. Alle korrelasjoner er positive, det vil si at boniteten blir høyere når skogtypene indikerer et bedre forhold til næringsstoffer. For furu er sammenhengen høyest i de nemorale-boreonemorale og sør-mellomboreale regionene. Gran har høyeste korrelasjoner i de nemorale-boreonemorale og nordboreale regionene.

Tabell 3. Korrelasjon mellom bonitet og skogtype (* = signifikant $p < 0.05$; ensidig)

REGION	BONITET			
	gran		furu	
nærings gradient	τ	n	τ	n
NEMORAL-BOREONEMORAL				
lavskog ___ lågurtskog	-	-	0,517*	40
lyngskog ___ rik lågurtskog	0,571*	24	-	-
SØRBOREAL-MELLOM BOREAL				
lyngskog ___ lågurtskog	-	-	0,735*	25
lyngskog ___ høgstaudeskog	0,225*	74	-	-
NORDBOREAL				
lyngskog ___ høgstaudeskog	0,379*	14	0,306*	11

Tabell 4 viser sammenhengen mellom bonitet og temperatur i den kontinentale sonen, og mellom bonitet og nedbør i den sørboreale-mellomboreale regionen for både lyng- og blåbærskog. Boniteten blir lavere ved synkende temperatur og ved økende nedbør. Korrelasjonen er i alle tilfeller lav for både gran og furu.

Sammenhengen mellom bonitet og temperatur viser at korrelasjonen for både lyng- og granskog er signifikant for gran, og ikke for furu.

Sammenhengen med nedbør er kun signifikant i blåbærskog med høyeste korrelasjon i furu dominert skog ($\tau = -0.461$).

Tabell 4. Korrelasjon mellom bonitet og temperatur (kontinental sone) og nedbør (sør-mellom borealregion) for lyng- og blåbærskog (*= signifikant $p < 0.05$; 2-sidig).

	BONITET			
	gran		furu	
	τ	n	τ	n
TEMPERATUR GRADIENT(kontinental sone) (nemoral-boreonemoral ——— nordboreal)				
lyngskog	-0.370*	18	-0.205	42
blåbærskog	-0.360*	29	-0.300	14
NEDBØR GRADIENT(sørb.-mellombor.region) (kontinental ——— oseanisk)				
lyngskog	0.117	10	-0.225	35
blåbærskog	-0.225*	53	-0.461*	19

3.2 Regionale skogtyper på podsoler, bonitet og næringsstoffer

3.2.1 Skogtyper og en næringsfattig - næringsrik gradient

Sammenhengen mellom skogtyper og jordkjemi i humus-sjiktet var høyest for pH, basemetning, C/N og ombyttbar asiditet (Al+H) (tabell 5). I tabellen er de skogtypene gruppert etter den ovennevnte næringsfattig - næringsrik gradienten for hver region innenfor den kontinentale sonen. Tabellen viser de gjennomsnittlige verdiene og standard feil (Standard Error S.E.) for de ulike jordsmonn parameterne, og korrelasjonen mellom de gradientene og jordkjemi.

C/N er signifikant korrelert med skogtyper i alle regioner og blir lavere når flere gressarter og urter forekommer i vegetasjonen (som i lågurt- og høgstaudeskog).

Surhetsgrad (pH), ombyttbar asiditet og basemetning har høye signifikante korrelasjoner med skogtyper i de sørboreale, mellomboreale og nord boreale regionene.

Base kationene Ca, Na, K og Mg har i alle tilfeller lave korrelasjoner med skogtypene. N_{tot} er kun signifikant i nemorale-boreonemorale regionen, og øker i lågurt og høgstaudeskog. C_{org} , P og S blir lavere når de skogtypene indikerer et høyere tilbud av næringsstoffer som i lågurt- og høgstaudeskog, men korrelasjoner er stort sett lav. Organisk C har høyest korrelasjon i den nordboreale regionen. Kationenbyttekapasitet (KAK) har en svak korrelasjon i den nemorale-boreonemorale regionen.

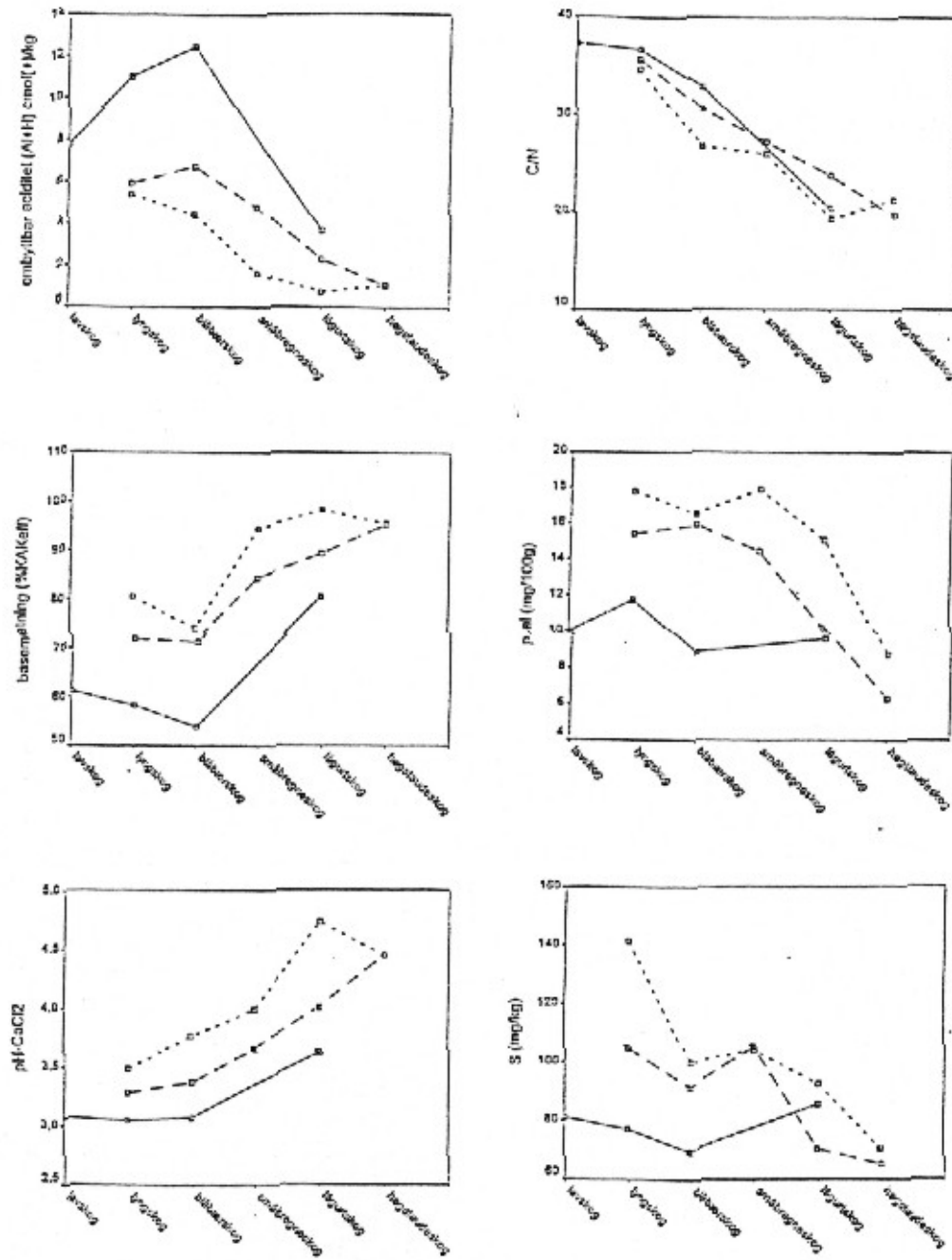
Verdiene av jordparameterne er ikke like for de ulike regionene (tabell 5, figur 2).

Basemetning, pH, S, P har høyeste verdier, og ombyttbar asiditet har laveste verdier i den nordboreale regionen. Av alle skogtyper har blåbærskog høyest ombyttbar asiditet i den nemorale-boreonemorale og sørboreale-mellomboreale regionen og lavest basemetning i alle regioner. Basemetning og pH øker, og asiditet synker når mer urter forekommer i vegetasjonen som i høgstaudeskog. Når basemetningen og pH øker, synker ombyttbar asiditet (figur 2).

Tabell 5. Gjennomsnittlige verdier og S.E. fra jordkjemiske parametre i humussjiktet for skogtyper i de ulike regioner i den kontinentale sonen. Korrelasjon (Spearman's r $p < 0.05$ to-sidig) er beregnet for de næringsfattig-næringsrik gradienten og de jordkjemiske parametrene for de ulike regionene (KAK = kationenbyttekapasitet; BM = basemetning).

region/skogtype	Ca cmol(+)/kg	K cmol(+)/kg	Mg cmol(+)/kg	Na cmol(+)/kg	Al+H cmol(+)/kg	pH-CaCl ₂
nemoral-boreonemoral						
Lavskog	8.65 ± 0.99	1.50 ± 0.17	2.29 ± 0.22	0.49 ± 4.92E-02	7.77 ± 0.62	3.07 ± 0.40
Lyngskog	10.64 ± 0.78	1.50 ± 0.11	2.91 ± 0.36	0.64 ± 5.88E-02	11.02 ± 0.72	3.05 ± 0.40
Blåbærskog	10.54 ± 1.46	1.33 ± 0.12	2.77 ± 0.30	0.87 ± 7.00E-02	12.45 ± 1.18	3.07 ± 0.39
Lågurtskog	11.45 ± 3.02	1.06 ± 0.20	3.05 ± 1.05	1.39 ± 0.93	3.67 ± 1.00	3.62 ± 0.43
Spearman's r (n=64)	0.095	-0.228	0.067	0.279*	0.152	0.292*
sorboreal-mellomboreal						
Lyngskog	12.27 ± 2.11	1.68 ± 0.21	3.74 ± 0.56	0.77 ± 0.13	5.93 ± 0.48	3.28 ± 0.42
Blåbærskog	11.94 ± 1.51	2.96 ± 0.22	2.64 ± 0.40	0.54 ± 5.53E-02	6.75 ± 1.14	3.36 ± 0.40
Småbregneskog	17.77 ± 1.55	1.94 ± 0.22	4.94 ± 0.61	0.70 ± 0.11	4.76 ± 0.86	3.63 ± 0.44
Lågurtskog	19.21 ± 4.39	1.79 ± 0.22	2.61 ± 0.41	0.26 ± 3.60E-02	2.28 ± 0.77	4.00 ± 0.44
Høgstaueskog	26.02 ± 9.38	0.90 ± 0.15	3.98 ± 1.03	0.38 ± 7.55E-02	1.08 ± 0.31	4.44 ± 0.46
Spearman's r (n=99)	0.303*	-0.129	-0.090	-0.261*	-0.505*	0.712*
nordboreal						
Lyngskog	16.33 ± 2.17	2.41 ± 0.43	3.73 ± 0.69	0.53 ± 0.14	5.41 ± 0.96	3.48 ± 0.41
Blåbærskog	12.12 ± 2.48	1.95 ± 0.32	3.72 ± 1.03	0.56 ± 0.19	4.43 ± 0.95	3.75 ± 0.44
Småbregneskog	19.85 ± 3.44	2.02 ± 0.34	9.79 ± 2.14	0.86 ± 0.20	1.60 ± 0.71	3.98 ± 0.42
Lågurtskog	30.41 ± 7.00	1.96 ± 0.67	8.58 ± 2.82	0.85 ± 0.17	0.72 ± 0.41	4.72 ± 0.49
Høgstaueskog	15.04 ± 6.55	1.37 ± 0.94	6.67 ± 3.48	0.59 ± 0.35	1.07 ± 0.45	4.44 ± 0.47
Spearman's r (n=33)	0.167	-0.203	0.376*	0.092	-0.620*	0.746*

region/skogtype	C _{org} %	N _{tot} %	P mg/100g	S mg/kg	C/N	KAK _{eff} cmol(+)/kg	B.M % KAK _{eff}
nemoral-boreonemoral							
Lavskog	42.37 ± 2.54	1.13 ± 3.01E-02	9.97 ± 1.55	81.09 ± 9.13	37.26 ± 2.03	20.71 ± 1.00	61.17 ± 4.04
Lyngskog	44.25 ± 1.35	1.24 ± 5.55E-02	11.76 ± 1.14	77.14 ± 7.00	36.71 ± 1.18	26.73 ± 1.18	58.27 ± 2.45
Blåbærskog	45.28 ± 1.74	1.43 ± 0.10	8.9 ± 0.89	69.47 ± 4.44	32.95 ± 1.90	27.98 ± 1.42	53.94 ± 4.69
Lågurtskog	29.97 ± 6.87	1.45 ± 0.31	9.65 ± 2.87	85.32 ± 34.95	20.36 ± 1.33	20.63 ± 2.66	80.47 ± 7.46
Spearman's r (n=64)	-0.084	0.360*	-0.176	-0.107	-0.473*	0.327*	-0.005
sorboreal-mellomboreal							
Lyngskog	39.96 ± 2.75	1.11 ± 6.85E-02	15.45 ± 2.12	104.86 ± 11.73	35.72 ± 1.88	24.41 ± 2.73	72.95 ± 3.15
Blåbærskog	35.18 ± 3.02	1.12 ± 8.07E-02	15.96 ± 2.08	91.41 ± 13.65	30.70 ± 1.52	23.85 ± 2.08	71.34 ± 4.62
Småbregneskog	38.63 ± 1.91	1.47 ± 9.21E-02	14.50 ± 1.37	105.08 ± 9.86	27.21 ± 1.17	30.13 ± 2.10	84.43 ± 2.25
Lågurtskog	23.28 ± 3.20	0.97 ± 0.12	10.20 ± 2.03	70.17 ± 19.66	23.79 ± 1.19	26.17 ± 5.10	89.33 ± 3.90
Høgstaueskog	17.52 ± 2.43	0.87 ± 9.11E-02	6.32 ± 1.22	65.05 ± 10.63	19.68 ± 1.25	32.30 ± 10.12	95.23 ± 1.56
Spearman's r (n=99)	-0.207*	-0.061	-0.258*	-0.174	-0.602*	0.115	0.528*
nordboreal							
Lyngskog	44.91 ± 3.98	1.33 ± 0.14	17.83 ± 2.24	141.56 ± 24.02	34.67 ± 2.47	28.43 ± 3.14	80.59 ± 3.12
Blåbærskog	31.44 ± 4.09	1.18 ± 0.16	16.55 ± 3.23	99.98 ± 19.63	26.81 ± 1.83	22.79 ± 3.27	74.12 ± 7.46
Småbregneskog	31.60 ± 3.75	1.29 ± 0.21	17.91 ± 2.45	104.04 ± 15.05	25.98 ± 1.90	34.14 ± 5.34	94.48 ± 2.36
Lågurtskog	26.72 ± 4.79	1.37 ± 0.21	15.12 ± 5.37	92.25 ± 19.01	19.31 ± 0.94	42.54 ± 8.56	98.30 ± 0.81
Høgstaueskog	18.50 ± 10.66	0.78 ± 0.37	8.76 ± 6.61	70.30 ± 45.51	21.25 ± 2.37	24.77 ± 11.72	95.52 ± 0.39
Spearman's r (n=33)	-0.489*	-0.123	-0.186	-0.306	-0.712*	0.123	0.574*



Figur 2. Gjennomsnittlige verdier fra jord parametre i humussjiktet for de forskjellige skogtyper. Skogtypene er ordnet langs den næringsfattig-næringsrik gradienten for den nemorale-boreonemorale regionen (———, n = 64), den sørboreale-mellomboreale regionen (- - - - -, n = 99) og den nordboreale regionen (.....n = 33) i den kontinentale sonen.

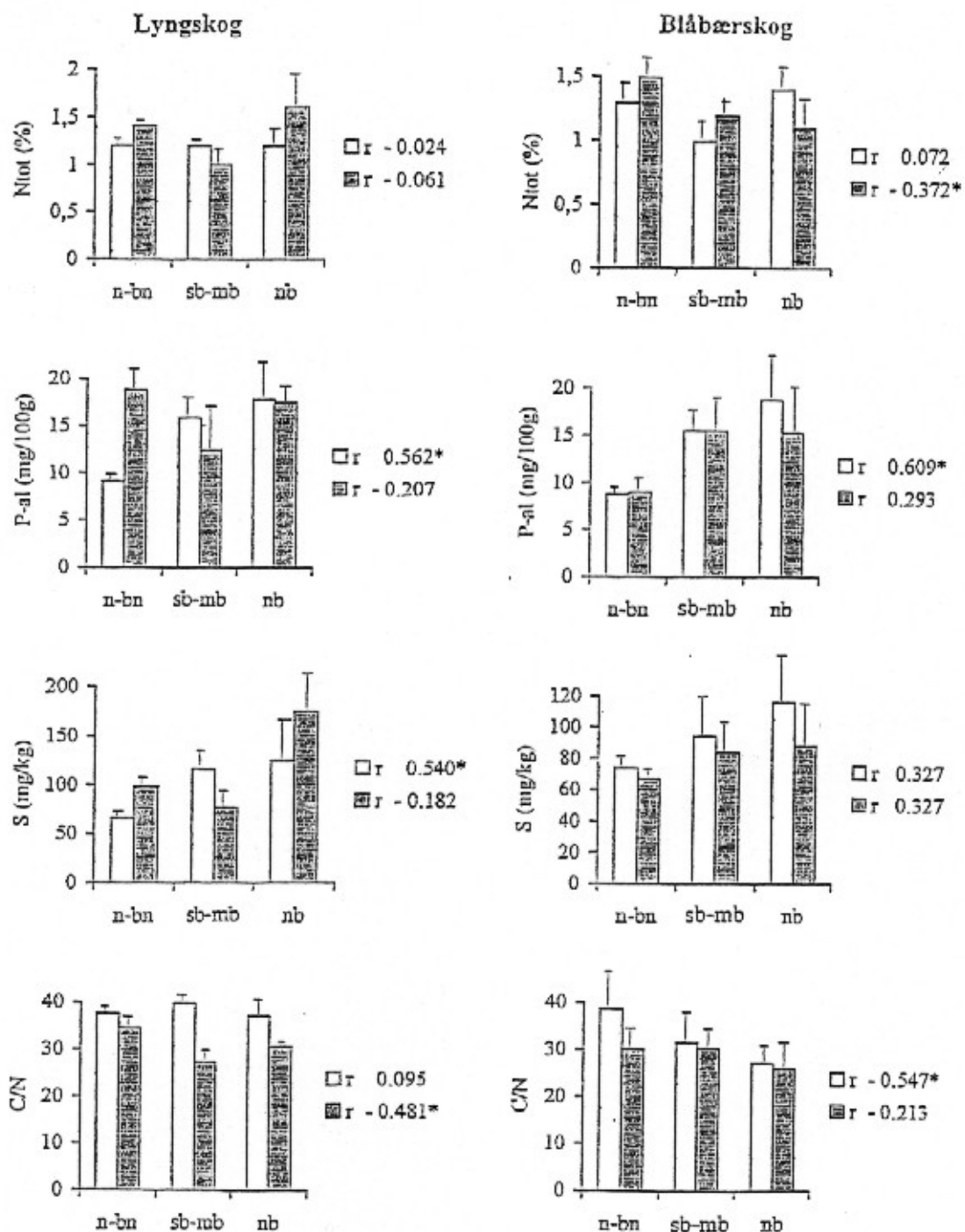
Basemetningen blir sterkt påvirket av Al konsentrasjonen (tallene er ikke vist her). En sterk økning i Al konsentrasjonen resulterer i en lavere basemetning. P synker i lågurt og høgstaudeskog i den sørboreale-mellomboreale og nordboreale regionen. Også de base kationene Mg, K og Ca øker fra den nemorale-boreonemorale til nordboreale regionen. Denne økningen gjelder for Ca, særlig i lyng- og lågurtskog (tabell 5).

3.2.2 Lyng- og blåbærskog og en temperatur gradient

I både lyng- og blåbærskog har basemetning, pH og ombyttbar asiditet, de høyeste signifikante korrelasjonene med temperaturen. Basemetning (lyngskog: $r = 0.602^*$; blåbærskog: $r = 0.433^*$) og pH (lyngskog: $r = 0.529^*$; blåbærskog: $r = 0.578^*$) øker med lavere temperatur. Asiditet (lyngskog: $r = 0.712^*$; blåbærskog: $r = -0.582^*$) blir lavere med synkende temperatur. I blåbærskog blir C_{org} ($r = -0.469^*$) og N ($r = -0.256^*$) lavere og C/N ($r = 0.314^*$) øker med lavere temperatur. I lyngskog P ($r = 0.299^*$) og S ($r = 0.391^*$) øker med lavere temperatur og P ($r = 0.410^*$) øker også i blåbærskog ved lavere temperatur. Base kationer og kationenes byttekapasitet (KAK) har ingen eller en lav korrelasjon med temperatur. Korrelasjonen mellom basemetning, pH og ombyttbar asiditet er uavhengig av treslag. Dette gjelder ikke for N, P, S og C/N. Disse er i mer eller mindre måte bestemt av treslag (figur 3). N_{tot} er korrelert med gran, P og S med furu i både lyng- og blåbærskog og i mindre grad også for gran i blåbærskog; C/N er korrelert med furu i blåbærskog.

3.2.3 Bonitet og næringsstoffer innenfor de ulike regionene

Sammenhengen mellom bonitet og næringsstoffer i humus-sjiktet innenfor de ulike regionene er mest signifikant for gran i de nemorale-boreonemorale og sørboreale-mellomboreale regionene. K, Na, P, S og C/N går signifikant ned, og pH øker med høyere bonitet av gran i den nemorale-boreonemorale regionen. Mellom bonitet av furu og jord kjemi i den nemorale-boreonemorale regionen er ingen signifikante korrelasjoner. I den sørboreale-mellomboreale regionen går Na, Al+H og C/N signifikant ned for gran og C/N for furu med høyere bonitet. I denne regionen øker basemetningen og pH for gran og Na og pH for furu med høyere bonitet. Signifikante korrelasjoner er høyere for furu enn for gran. Den nordboreale regionen har de minste signifikante korrelasjoner. For gran pH og Mg øker signifikant med høyere bonitet, og basemetningen for furu øker med høyere bonitet.



Figur 3. Gjennomsnittlige verdier og S.E. fra N, P, S og C/N i humus sjiktet i lyng- og blåbærskog for furu (□ n = 41 (lyngskog) og n = 17 (blåbærskog)) og gran (▨ n = 14 (lyngskog) og n = 29 (blåbærskog)) dominert skog ordnet langs temperatur gradienten (n-nb: nemoral-boreonemoral; sb-mb: sørboreal-mellomboreal; nb: nordboreal. Spearman's r (p<0.05, to-sidig; * = signifikant) angir korrelasjonen mellom temperatur gradienten og jord parametrene fra n-nb til nb.

Tabell 6. Korrelasjon mellom bonitet og jord kjemi innenfor de ulike regionene i den kontinentale sonen.

	NEMORAL-BOREONEMORAL		SØRBOREAL-MELLOM BOREAL		NORDBOREAL	
	gran (n=24) bonitet: 6-26	furu (n=40) bonitet: 6-17	gran (n=74) bonitet: 6-23	furu (n=25) bonitet: 6-17	gran (n=15) bonitet: 6-17	furu (n=11) bonitet: 6-11
Ca	-0.146	0.115	0.069	0.094	0.116	0.464
K	-0.641*	0.083	-0.017	0.097	-0.100	-0.046
Mg	-0.328	-0.180	-0.190	-0.314	0.488*	0.245
Na	-0.352*	-0.187	-0.366*	-0.514*	0.189	0.127
Al+H	-0.109	-0.012	-0.312*	-0.304	-0.299	-0.427
Ntot	-0.019	-0.041	-0.025	-0.094	-0.331	-0.061
P-Al	-0.467*	0.150	0.099	0.129	-0.294	-0.234
S	-0.722*	0.225	-0.188	0.090	-0.146	-0.076
Corg	-0.445*	-0.223	-0.321*	-0.427*	-0.303	-0.209
C/N	-0.440*	-0.063	-0.239*	-0.574*	-0.210	-0.209
CEC	-0.087	-0.019	-0.146	-0.146	0.016	0.382
basemetning	-0.125	0.114	0.281*	0.085	0.239	0.550*
pH-CaCl2	0.389*	0.222	0.294*	0.354*	0.508*	0.353

4. Diskusjon og konklusjoner

Skogtyper og jordgrupper

En hovedskogtype kan forekomme på flere jordgrupper. Dette viser at hovedskogtypene samlet har en stor utbredelse. Grunnen til dette er at enkelte dominerende plantearter karakteriserer hovedskogtypen. Flere av de dominerende plantearter som blåbær, tyttebær, smyle osv. har en bred økologisk amplitude. Plantearter med en bred økologisk amplitude indikerer ikke en god sammenheng med nærings- og fuktighets-tilstand og jordsmonnutvikling. Dersom skogtypene blir bestemt etter plantearter med en smalere økologisk amplitude, vil det bli mulig å få bedre innsikt i sammenhengen mellom vegetasjon, utvikling av humus og mineral jordsmonn sjikt og jordkjemi. Bruken av den nye foreløpige rapporten 'regionale vegetasjonstyper i skog' (Larsson, 1998) vil da gi bedre resultater for lokale forskjeller i vegetasjon og jordsmonn.

Skogtyper og bonitet

De forskjellige korrelasjonene mellom skogtype og bonitet innenfor de ulike regionene tyder på at en skogtype har en ulike indikasjonverdi for bonitet i de forskjellige regionene. Og indikasjonverdien fra en skogtype er forskjellig for gran og furu på grunn av forskjellene i signifikante korrelasjoner.

Skogtyper og jordkjemi

Generelt indikerer et lavt C/N forhold høyere tilbud av næringsstoffer enn et høyt C/N forhold. Plantearter i lågurt- og høgstaudeskog indikerer næringsrikere voksesteder enn planteartene i lav-, lyng- og blåbærskog. For eksempel indikerer skogstorkenebb og skogfiol i lågurt- og høgstaudeskog et høyt næringstilbud (Økland 1996). Dette stemmer med det lavere C/N forholdet i lågurt- og høgstaudeskog og høyere C/N forholdet i lav, lyng og blåbærskog. Dette viser at påvirkningen av planteartene på C/N forholdet er ulik. Artenes sammensetning i bunnvegetasjon er viktig for egenskapene av det organisk sjiktet i monokulturer av barskog.

De små forskjellene i C/N mellom de ulike regionene tyder på at vegetasjons sammensetningen har større innflytelse på C/N forholdet enn det de makro-klimatologiske forskjellene har på C/N forholdet. Generelt blir C/N høyere med en nedgang i temperatur av 10° C (Jenny 1963, referert i Prasad, 1997). Også blir antatt at en åpen skogsstruktur og blanding med bjørk i den nordboreale regionen har innflytelse på C/N forholdet. Hvis skogstrukturen er åpen, får jorden mer sol og hermed øker mineraliserings prosessene (Økland og Eilertsen 1993). Blanding med bjørk hadde en bedre mineralisering enn monokulturer av gran (Carlyle and Malcolm 1986; Sirén, 1955). Så denne åpne skogstrukturen og treslagsblandingen kan bidra til det lavere C/N forholdet i den nordboreale regionen mer enn man skulle forvente på grunn av den lavere temperaturen.

Forskjeller i basemetning blir bestemt av ombyttbar asiditet. Høye Al konsentrasjoner korreleres med lav basemetning. Dette stemmer med resultater av Emmer et al. (1998) og Økland & Eilertsen (1996). I det organiske sjiktet forekommer kationer hovedsakelig i ombyttbar form; det betyr at byttekapasiteten av Al er høy og dermed har stor innflytelse på basekationer. Dette antas også at når basemetningen er lav er pH lav, fordi Al konsentrasjoner er høy ved lav pH.

Høyeste asiditet og laveste basemetning i blåbærskog, særlig i den nemorale-boreonemorale regionen, og sammenlignet med de andre skogtypene, kan tyde på at denne skogtypen er mest utsatt for forsuring. Samme er konkludert av Emmer (1998). I Sør-Norge er den sure nedbøren høyere enn i andre deler av landet (Tørseth & Semb 1997). Så forskjeller i pH, basemetning og asiditet for de ulike regionene er ikke bare forårsaket av vegetasjon og klima, men også ved forskjeller i sur nedbør, som er høyest i den nemorale-boreonemorale regionen.

Høyere konsentrasjoner av P, S og andre næringsstoffer i den nordboreale regionen kan bli forårsaket av et lavere opptak av næringsstoffer på grunn av en kortere vekstsesong og mindre nedvasking av næringsstoffer på grunn av et lenger liggende snødekke. Tykkelsen av snødekket og lengden av vekstsesongen har innflytelse på P konsentrasjonen (Makarov et al. 1997).

De svake korrelasjonene mellom basekationer, P, S og N og skogtyper langs den næringsfattige - næringsrike gradienten tyder på at det er ingen overskudd i gress og urte dominerte skogtyper. Bare N har et overskudd i den nemorale-boreonemorale regionen, og P og S i de kalde regionene. Dette forutsettes da det ikke foreligger opplysninger om mengden av næringsstoffer som er tatt opp i planter, og om næringsstoffmengden i jorden.

Bonitet og næringsstoffer

De signifikante korrelasjonene mellom bonitet og næringsstoffer i de nemorale-boreonemorale og sørboreale-mellomboreale regionene viser at tilbudet av næringsstoffer spiller en viktigere rolle i disse regionene enn i den nordboreale regionen. Dette gjelder særlig gran og for furu, men er begrenset til den sørboreale-mellomboreale regionen. Det vil si at andre faktorer spiller en viktigere rolle for bonitet i den nordboreale regionen enn næringsstofftilbud.

Konklusjon

Resultatene av dette prosjektet kan brukes som utgangspunkt for videre undersøkelser i skogens økosystemprosesser. Den brukte data-innsamlingsmetoden utelukker lokale variasjoner, derfor må de korrelasjonene mellom vegetasjon, jordkjemi og bonitet innenfor de ulike regioner sees som trender på nasjonalt nivå.

Prosjektet viser at disse korrelasjonene ikke er de samme for de ulike regionene. Dette betyr at påvirkninger fra makroklimaet på prosesser i økosystemet og dermed trevekst ikke er likt i de forskjellige regionene. Det vil si at det er svært viktig å analysere dataene separat for de ulike

regionene og at en inndeling av landet i regioner basert på økologisk grunnlag kan brukes som et viktig instrument i skogforvaltning.

Litteraturliste

- Agriculture Canada Expert Committee on soil Survey. 1987. The Canadian system of soil classification. 2nd ed. Agric. Can. Publ 1646. 164 pp.
- Berendse, F., Berg, B. & Bosetta, E. 1987. The effect of lignin and nitrogen on the decomposition of litter in nutrient-poor ecosystems: a theoretical approach. *Can. J. Bot.* **65**: 1116-1120.
- Berg, B. 1984. Decomposition of moss litter in a mature Scotch pine forest. *Pedobiologia* **26**: 301-306
- Carlyle, J.C. & Malcolm, D.C. 1986. Nitrogen availability beneath pure spruce and mixed larch and spruce stands growing on a deep peat. I Net N mineralization measured by field and laboratory incubations. *Plant&Soil* **93**: 95-113.
- Dahl, E., Elven, R., Moen, A. & Skogen, A 1986. Vegetasjonsregionkart over Norge 1:1 500 000, Nasjonalatlas for Norge. Statens Kartverk.
- Elgersma, A.M. 1994. Site types of the Leuvenum forest, a case study in the Hulshorsterzand and Leuvenum forest. Scientific Periodical report nr. 10. Dep. of Forestry, Agricultural University Wageningen.
- Elgersma, A.M. & Van Roon, T. 1996. Forest sites : their properties and possibilities for forest-and nature management. *Dutch Journal for Forestry* **68** (5): 171-176.
- Emmer, I.M. Fanta, J., Kobus, A.Th., Kooijman, A. & Sevink, J. 1998. Reversing borealisation as a means to restore biodiversity in Central-European mountain forests - an example from the Krkonosa Mountains, Chec republic. *Biodiversity & Conservation* 7(2) 229-247.
- Esser, J.M. & Nyborg, P 1992. Jordsmonn i barskog - en oversikt for Norge. *NIJOS Rapp.* 3/92.
- Fanta, J. 1985. Forest site: research, classification and use in forest managment. *Dutch Journal for Forestry* **57** (10/11) s.333-347.
- Fremstad, E. & Elven, R. (eds) 1987. Enheter for vegetasjonskartlegging. *Økoforsk utredning* 1987.1.
- Gigon, A. 1975. Uber das Wirken der Standortsfaktoren: kausale und korrelatieve Beziehungen in jungen und reifen Stadien der Sukzession. *Mitt. Eidg. Anstalt forstliche Versuchswesen* **51**(1) 25-35.
- Jenny, H. 1980. The soil resource. Origin and behaviour. Springer, New York.
- Karrer G. 1992. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Teil II: vegetasjonsökologische analysen. *Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.* **168**/Band II.
- Kreuzer, K. 1981. Grundzüge der forstlichen Standortsklassifikation. In: Kilian, W (ed.). *Standort-Klassifizierung-Analyse-Antropogene Veränderungen.* *Mitteil. Forstl. Versuchsanstalt wien.* Heft 140, 67-75.
- Larsson, J.Y. 1991. Enheter for detaljert klassifisering av vegetasjon i skog. *NIJOS* 1991.
- Larsson, J.Y. 1998. Regionale vegetasjonstyper i skog .*NIJOS* (foreløpig rapport).
- Makarov, M.I., Malysheva, T.I., Haumaier, L. Alt, H.G. & Zech, W. 1997. The forms of phosphorus in humic and fulvic acids of a toposequence of alpine soils in the northern Caucasus. *Geoderma* **80**: 61-73.

- Meilleur, A., Bouchard, A. & Bergeron Y. 1994. The relation between geomorphology and forest community types of the Haut-Saint-Laurent, Quebec. *Vegetatio* **111**: 173-192
- Nilsen & Larsson 1992.
- NIJOS 1995. Feltninstruks 1995. Landsskogtakseringen og overvåking.
- Økland, T. 1996. Vegetation-environment relationships of boreal spruce forests in ten monitoring reference areas in Norway. *Sommerfeltia* 22.
- Økland, R. & Eilertsen, O. 1993. Vegetation-environment relationships of boreal coniferous forests in the Solholmfjell area, Gjerstad, S. Norway. *Sommerfeltia* 16.
- Økland, R. & Eilertsen, O. 1996. Dynamics of understory vegetation in an old-growth boreal coniferous forest 1988-1993. *Journal of Vegetation Science* **7**: 747-762.
- Prasad, R. & Power, J.F. 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishers New York.
- Rehfuess, K.E. 1990. Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Pareys Studentexte 29, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Siren, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. *Acta Forestalia Fennica*, Helsinki 62, 4.
- Steinnes, E., Flaten, T.P., Varskog, P., Låg, J. & bolviken, B. 1993. Acidification status of Norwegian forest soils as evident from large scale studies of humus samples. *Scan. J. For. Res.* **8**: 291-304.
- Tørset, K & Semb, A. 1997. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1992-1996. NILU/OR 67/97.
- Tveite, B. & Braastad, H. 1981. Bonitering av gran, furu og bjørk. NISK. Norsk Skogbruk, **4**, s. 17-22.