

GRÖNA TAKS PÅVERKAN PÅ DAGVATTENKVALITÉN

Green roofs influence on runoff water quality

av JUSTYNA CZEMIEL BERNDTSSON och LARS BENGTTSSON
Teknisk Vattenresurslära, LTH, Box 118, 221 00 Lund
e-post: justyna.czemiel@tvrl.lth.se



Abstract

The influence of extensive sedum-moss green roofs on runoff water pollution loads was studied for four full scale installations located in southern Sweden. The aim of the study was to ascertain whether the green roof behaves as a sink or a source of pollutants on annual basis and if runoff quality depends on a roof's age. The pollution loads from vegetated roofs were also compared with the pollution loads from two non-vegetated roofs located in the study areas. The annual pollution loads were calculated based on the measured water quality and the volumes of annual precipitation and the annual roof runoff. Concentrations were measured during four precipitation events in November-December 2003. The following metals and nutrients were investigated: Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn, NO₃-N, Tot-N, PO₄-P, and Tot-P. The results show that, on the annual basis when total loads are considered, vegetated roofs behave as sink of nitrogen and source of potassium and phosphorus, the last with the exception of the oldest vegetated roof. The influence of vegetated roofs on annual heavy metals loads in runoff is less significant.

Key words – Extensive green roofs; heavy metals; nutrients; runoff pollution load; urban.

Sammanfattning

Gröna taks påverkan på den årliga belastningen av föroreningar i avrinningsvattnet har undersökts för fyra anlagda gröna tak i södra Sverige. Undersökningens huvudmål var att ta reda på om gröna tak fungerar som en fälla för eller en källa till föroreningar och om avrinningskvaliteten påverkas av takens ålder. Läckage av föroreningar från gröna tak jämfördes också med läckaget från två hårda tak i samma områden. Proverna togs under november och december 2003. De föroreningar som undersöktes var tungmetaller (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb och Zn) och näringsämnen (NO₃-N, Tot-N, PO₄-P, och Tot-P). Resultaten visar att när man tittar på den årliga belastningen av föroreningar från gröna tak så är de undersökta gröna taken en fälla för kväve och en källa till kalium och fosfor. Gröna taks påverkan på den årliga belastningen av tungmetaller är mindre signifikant.

Inledning

Under århundraden har människan längtat efter den egna torvan. Gröna områden och parker har byggts i urbana miljöer för att förbättra livskvaliteten. På senaste tiden har städerna blivit mer och mer tätbebyggda och i vissa delar fattas det mark för anläggningar av gröna ytor. Idag börjar man rikta blicken uppåt till de ytor som finns i överflöd, dvs. tak. Just där finns det en stor potential att skapa trivsamma gröna miljöer genom anläggningar be-

stående av jordsubstrat och växter. Gröna tak kan vara skapade för åskådning eller så kan även vistelse möjliggöras. Tyskland och Schweiz är idag ledande europeiska länder i gröna takkonstruktioner (English Nature, 2003). I Sverige är gröna tak fortfarande en nyhet och de anläggningar som finns är oftast mera sporadiska uppvisningsanläggningar än generellt accepterade delar av vanliga byggnader.

Det finns intensiva och extensiva gröna tak. Intensiva gröna tak kallas också för takträdgårdar och kan bestå av

gräsmattor, blomodlingar, buskar och träd, även vattendammar kan förekomma. Skötsel bestående av bevattning, gödsling och bortplockning av ogräs behövs. Intensiva tak karakteriseras av stora jordtjocklekar, och takens tyngd kräver oftast anpassningar av byggnads konstruktion. Takträdgårdar är oftast avsedda för besökare. Extensiva gröna tak karakteriseras av mindre jordtjocklekar och deras tyngd möjliggör oftast anläggningar på befintliga tak utan behov av konstruktionsanpassning. Populära växter för extensiva tak är olika sorter av fetknopp, mossa, örter och gräs. Dessa tak har mindre behov av skötsel. Utöver planterade gröna tak kan även spontana gröna taksanläggningar byggas (växterna uppkommer av sig själv). Så kallade bruna tak är en variant av vegetationsbevuxna tak där man strävar efter etablering av ruderata växter, dvs. växter typiska för näringsfattiga jordar t.ex. i industri- och hamnområden eller i spillror efter rivna hus.

Det finns många potentiella fördelar med gröna tak, en del är väl utforskade och bekräftade medan andra är mera av den kvalitativa karaktären och det återstår att granska dem vetenskapligt. Potentiellt gynnar gröna tak miljön genom att dagvattenmängden minskar vilket reducerar avloppsvattnets bräddning och minskar negativ påverkan på vattendrag. Genom potentiell absorption av luftföroreningar, höga ljud och elektromagnetisk strålning bidrar gröna tak till bättre hälsa. Gröna tak ökar luftfuktigheten och bidrar till att reducera värmeö-effekten vilket förbättrar livskvalitén. De passar bra i blågröna (vatten – växter) urbana stråk och kan potentiellt bli nya verktyg för stadsarkitekter. Gröna tak tillför utrymme för vilda växter och djur i urbana miljöer och gynnar biologisk mångfald. Estetiska skäl spelar också en viktig roll: vyer av växter upplevs oftast som trevliga och ger känsla av välbefinnande. Gröna tak kan användas för att täcka gråa takmaterial och även annan teknisk utrustning på tak. Gröna tak skyddar också byggnadsmaterial från t.ex. ultraviolett strålning, mekaniska skador, och reducerar dagliga temperaturskillnader. Gröna tak kan bidra till ökning av värmeisolering.

Det kan också finnas risker med gröna tak. En av dem kan vara potential nedsmutsning av dagvatten med näringsämnen och/eller toxiska ämnen från gödsel, jord och de gröna takens konstruktionsmaterial. Luftföroreningar kan samlas i gröna tak vilket i sig är en fördel men kan också innebära att när gamla gröna tak rivs klassas avfallet som toxiskt och kostnaderna ökar. Eventuella skador på underliggande takmembran upptäcks inte på takytan eftersom den är täckt med det gröna skiktet. Under mycket torra förhållanden kan ökad brandrisk uppstå.

Gröna tak sägs ofta bidra till dagvattenrening. Det är en möjlighet. En annan är att gröna tak bidrar med kemiska ämnen till avrinningsvattnet. De ämnena kan potentiellt komma ifrån grönataktmaterial (jord, dräner-

ing), gödsel och redan ackumulerade luftföroreningar som under vissa förhållanden börjar läcka. Påverkan på avrinningsvattnets kvalitet kan potentiellt bero på typ av tak (extensiv eller intensiv, jordtyp, dräneringstyp, typ av växter), underhåll (gödsling eller ej) och de lokala förhållandena (trafikintensitet, lokala källor till luftföroreningar). Generellt vet man lite om gröna taks påverkan på avrinningsvattnets kvalitet. Några studier som gjorts i Tyskland har visat att gröna tak bidrar till minskad belastning på dagvatten (Köhler m.fl., 2002; Steusloff, 1998). Genom att ha studerat två modeller av gröna tak i Karlsruhe, Tyskland, kunde Steusloff (1998) dra slutsatsen att andelen av tunga metaller som absorberades av gröna tak mest var beroende på takets vattenhållningsförmåga.

I denna artikel rapporteras resultat av undersökning av fyra extensiva sedum-moss gröna tak i södra Sverige och deras påverkan på den totala årliga mängden läckage av näringsämnen och tungmetaller. Läckaget har jämförts med nederbördens kemi. Vattenprover togs under fyra tillfällen från fyra gröna tak och två icke bevuxna tak i november–december 2003. Årliga mängder är beräknade med utgångspunkt i de uppmätta koncentrationerna. Undersökningens huvudmål var att ta reda på om gröna tak fungerar som en fälla för eller en källa till föroreningar. De föroreningar som undersöktes var tungmetaller (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb och Zn) och näringsämnen (K, NO₃-N, Tot-N, PO₄-P, och Tot-P).

Studieområden

Gröna tak i Augustenborg, Malmö

Augustenborg är ett bostadsområde i Malmö. De extensiva sedum-moss gröna tak som undersöktes i studien (Figur 1) har anlagts år 2001 på låga hus som tillhör den kommunala verksamheten. Gröna tak består av flera lager (Figur 2) vilka är vegetationsskikt, jordsubstrat, slingmatta och dränering. Den sektionen av gröna tak från vilken avrinningsproverna togs har 2 cm tjock dränering av krossat tegel. Bland växterna dominerar fetknop *Sedum album* och *Sedum acre* men också andra arter förekommer. Jordsubstraten är 3 cm tjock. Under gröna tak finns takpappmembran vilken skyddar underliggande tak. Takrännen är av rostfritt stål. Under provtagningen kopplades den till plastbehållare med ett plaströr.

Gröna tak i Augustenborg gödslades våren 2001 och våren 2002 med 35 g/m² gödsel blandning bestående till hälften av långtidsverkande Multicote 8 extra (18-6-12) och till hälften av snabbverkande ProMagna (11-5-18). Det förekom ingen gödsling under år 2003.



Figur 1. Grönt tak i Augustenborg, Malmö. Avrinningsvattenprover togs från en av sektionerna som ligger åt höger på fotot.

Gröna tak på Kanotklubben, Malmö

Malmö Kanotklubb ligger i en stor park nära Malmö Kanal vilket innebär att luftfuktigheten är generellt högre än i bostadsområden. Det extensiva gröna taket på Kanotklubben är anlagt år 1995 och är av liknande typ som de gröna taken i Augustenborg. Dräneringen består av syntetisk dräneringsmatta typ Dränfelt med låg vattenhållande kapacitet (personal kommunikation, Johan Thiberg, VegTech, Sweden, 2003). Under dräneringsmattan ligger takpappmembran. Stuprännan är av koppar. Det var inte möjligt att kartlägga gödslingsrutinerna på detta tak.

Gröna tak på Gunnesboskolan, Lund

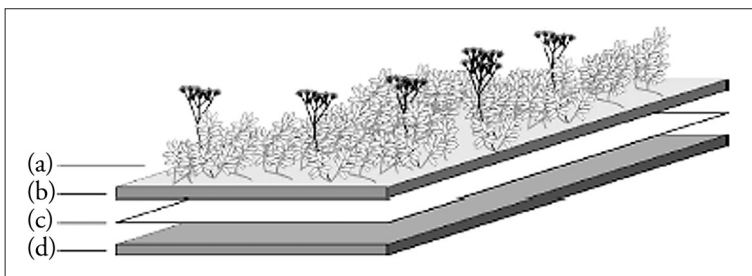
Gunnesboskolan ligger i ett bostadsområde i Lund. Gröna tak på skolan är av samma typ som i Augustenborg och har anlagts år 1994. Det gröna taksiktet ligger på ett betongtak. Dräneringen består av singel storlek 4–8 mm. Gröna tak på Gunnesboskolan har inte gödslats sedan etableringen (personal kommunikation med Johan Thiberg, VegTech, Sweden, 2003).

Gröna tak vid Kämnärsvägen, Lund

Vid Kämnärsvägen i Lund finns gröna tak anlagda på cykelparkeringsskydd (Figur 3). Området domineras av bostäder men kommersiell verksamhet och lätt industri förekommer också. De extensiva gröna taken består av följande lager: växtskikt med fetknop, (tjocklek 3 cm), jordsubstrat typ STT (tjocklek 4 cm), och Flor-Depot dränering (tjocklek 3.5 cm) (personal kommunikation med Roland Claesson, Terra Tec AB, Sweden, 2004). Under de gröna taken ligger takpappmembran. Takränna och stupränna är av plast. Gröna tak har anlagts år 2001. Gröna tak gödslades våren 2003 med långtidsverkande gödsel (ibid.).

Metoder

För att utvärdera extensiva gröna taks påverkan på avrinningsvattnets kvalitet och för att ta reda på om gröna tak fungerar som en fälla för eller en källa till föroreningar togs avrinningsprover från fyra gröna tak under



Figur 2. Gröna taks lager: (a) vegetationskikt, (b) jordsubstrat, (c) slingmatta (d) dränering; diagram av Tobias Emilsson.



Figur 3. Grönt tak vid Kämnärsvägen, Lund. Avrinningsvattenprover togs från en stupränna som syns på fotot.

fyra tillfällen i november–december 2003. För jämförelse togs också vattenprover från två icke beväxna tak: tegeltak i Augustenborg och betongtak i Gunnesbo. Vid varje tillfälle togs följande prover:

- Samlingsprov från en sektion (4x1,5 m) av grönt tak i Augustenborg; direkt avrinningsprov från närliggande tegeltak;
- Från det gröna taket på Kanotklubben togs direkta avrinningsprover från två stuprör;
- Från det gröna taket på Gunnesboskolan (matsalen byggnad) togs direkta avrinningsprover från stuprören; ett prov från ett närliggande betongtak togs också;
- Från det gröna taket vid Kämnärsvägen togs direkta avrinningsprover från stuprören.

Två nederbördssamlingsprover togs vid varje av de fyra provtagningsstillfällena: ett i Lund och ett i Malmö. I Lund togs proverna på Tekniska Högskolans tak (V-bygg). Avståndet mellan detta tak och de undersökta gröna taken i Lund är mindre än 3 km. I Malmö togs nederbördsprov på ett av de gröna taken i Augustenborg. Proverna togs i vattenbehållare av plast vilka hade tvättats med 0.4 M HCl och spolats med destillerat vatten.

Kemiska analyser

Alla vattenprover togs i 100 ml plast flaskor. Prover för analyser av tungmetaller syrliggjordes (0.1 M HNO₃). Alla prover förvarades i kylskåp innan analyserna. Proverna analyserades för tungmetallerna (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, and Zn) och näringsämnen (K, NO₃-N, Tot-N, PO₄-P, och Tot-P). Metallerna analyserades med

optisk ICP AES teknik med Perkin-Elmer OPTIMA 3000 DV instrument. Analyserna gjordes enligt instrumentmanualen. Analyserna av NO₃-N, Tot-N, PO₄-P, and Tot-P gjordes med FIA 5000 instrument från FOSS-Tecator: nitratkväve analyserades enligt ISO 13395, totalkväve enligt ISO 11905, fosfatfosfor enligt ISO 15681-1 och totalfosfor enligt CAS 5305 (FOSS, Customer Application Summary Note).

Beräkningar

Den totala årliga belastningen av tungmetaller och näringsämnen i nederbörden och i avrinningsvattnet från gröna tak beräknades från de uppmätta koncentrationerna och den totala registrerade årsnederbördsmängden och årsavrinningsmängden från gröna tak i Augustenborg. Den totala årsnederbörden mellan förste augusti 2001 och siste juli 2002 var 719 mm. I Augustenborg uppgick avrinningen under perioden till 51 % av nederbörden (Bengtsson m.fl., 2005). Beräkningar av de årliga mängderna av föroreningar är baserade på koncentrationer uppmätta under höstperioden. Koncentrationerna kan variera över året. Högre biologisk aktivitet under våren kan resultera i mindre läckage av näringsämnen. Å andra sidan tillförs gödsel under våren vilket betydligt ökar näringsämneläckaget. Hösten karakteriseras av mer frekventa regn än under resten av året vilket kan leda till större utspädning av ämnena i avrinningen och visa lägre koncentrationer. Detta tillsammans med att gödselläckaget minskar gradvis med tiden kan betyda att den beräknade årliga belastningen är mindre än den verkliga.

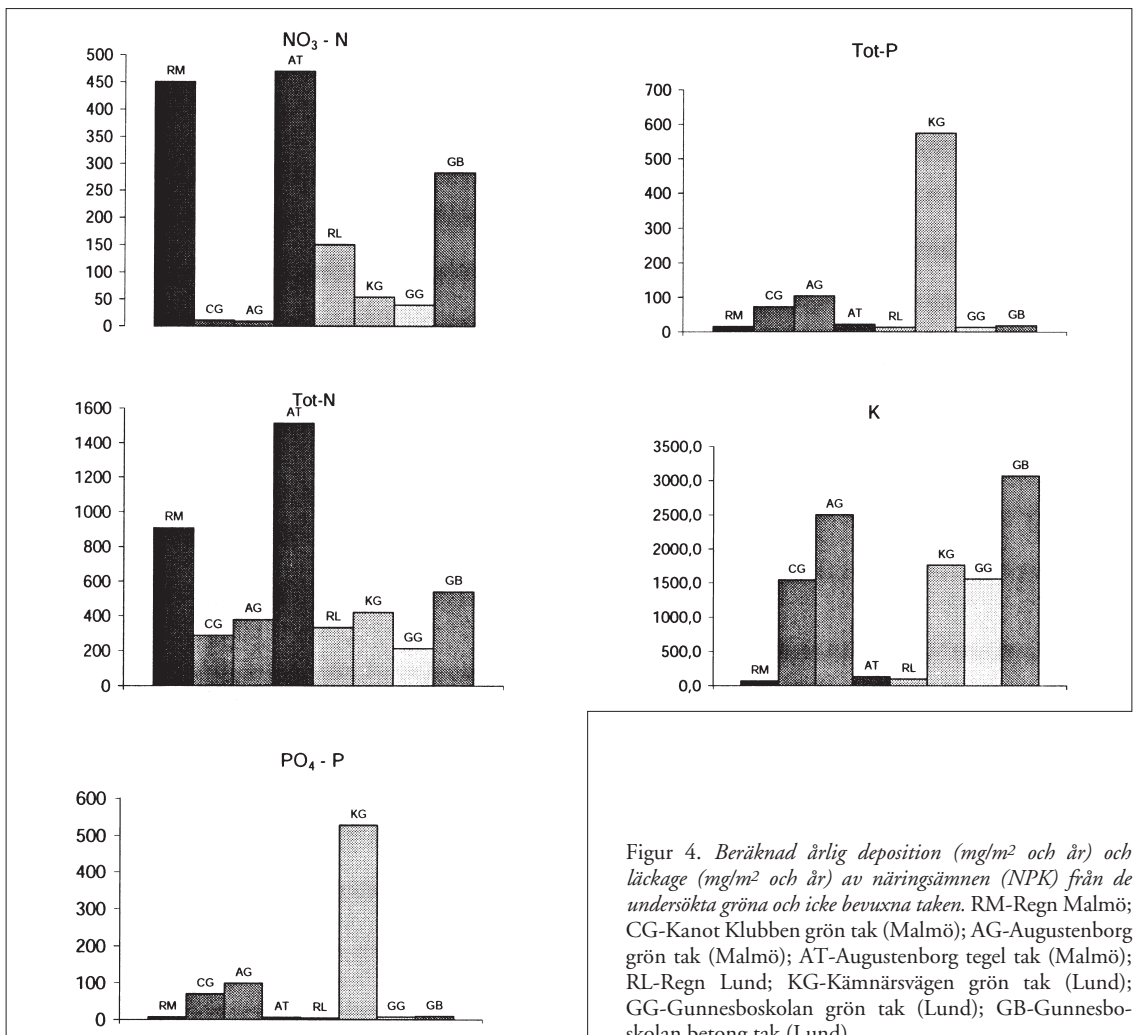
Resultat

NPK

Resultaten av den årliga belastningen av näringsämnen i nederbörden och i avrinningen från de fyra undersökta gröna taken och de två icke beväxna taken presenteras i Figur 4. Resultaten visar att, på årsbasis, alla undersökta gröna tak var en källa för nitratkväve (cirka 45 gånger mindre belastning i avrinningen än i nederbörden i Malmö) och också totalkväve med undantag av det gröna taket vid Kämnärsvägen. Samtidigt var gröna tak en källa till fosfatfosfor och totalfosfor med undantag av det äldsta undersökta gröna taket på Gunnesboskolan. Alla undersökta gröna tak var en stor källa till kalium (cirka 15 till 20 gånger högre kaliumbelastning i avrinningen än i neder-

börden), men också ett betongtak var en källa till detta ämne. Resultaten visar att belastningen av kväve och fosfor i avrinning från gröna tak kan kopplas till gödslingsrutiner. Gröna tak vid Kämnärsvägen vilka var gödslade under provtagningsåret visade störst läckage av fosfor (100 gånger mer i avrinning än i nederbörd) av alla undersökta gröna tak och även av totalkväve. Det äldsta av de studerade gröna taken, vilket inte var gödslat sedan anläggningsperioden, har inte visat något läckage av kväve eller fosfor vid avrinning. Belastningen av kalium från gröna tak kan inte direkt kopplas till gödslingsrutiner och är möjligen påverkad av mineralsammansättningen i jord och takmaterial.

Den årliga kvävebelastningen från icke beväxna tak är högre än belastningen i nederbörden (Fig. 4). Detta kan bero på uppsamlingen av föroreningar på taket under



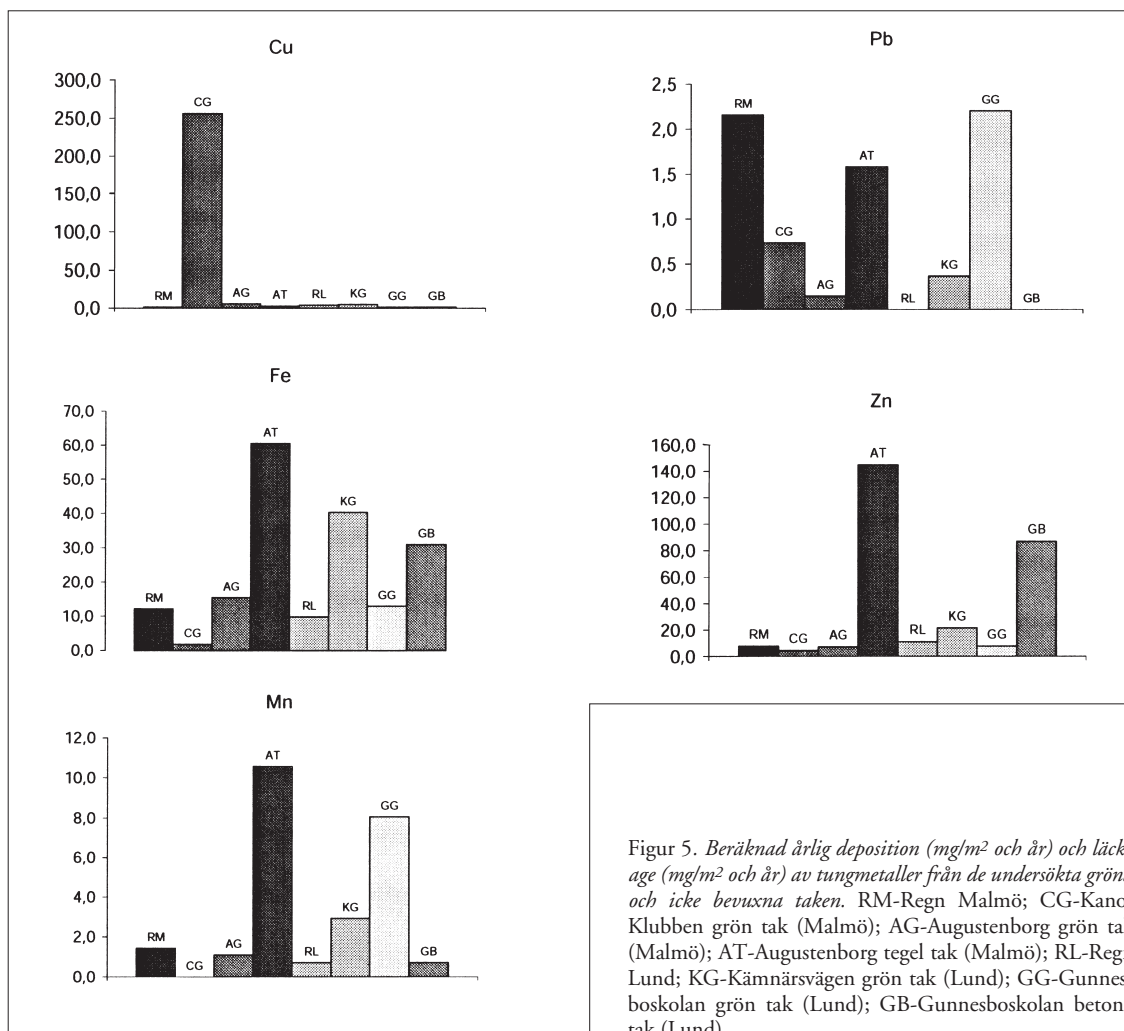
Figur 4. Beräknad årlig deposition (mg/m^2 och år) och läckage (mg/m^2 och år) av näringsämnen (NPK) från de undersökta gröna och icke beväxna taken. RM-Regn Malmö; CG-Kanot Klubben grön tak (Malmö); AG-Augustenberg grön tak (Malmö); AT-Augustenberg tegel tak (Malmö); RL-Regn Lund; KG-Kämnärsvägen grön tak (Lund); GG-Gunnesboskolan grön tak (Lund); GB-Gunnesboskolan betong tak (Lund).

torra perioder. Den årliga fosforbelastningen från icke bevuxna tak är liten och liknar belastningen i regn.

Tungmetaller

Resultaten av den årliga belastningen av de undersökta tungmetallerna i nederbörden och i avrinningen från de fyra studerade gröna taken och de två icke bevuxna taken presenteras i Figur 5. Resultaten för kadmium och krom visas inte i Figur 5 p.g.a. att kadmium inte har påvisats i undersökta prover och krom inte har påvisats eller att halterna var mycket låga, på gränsen till detektionsnivå. Enligt undersökningen hade gröna tak ingen signifikant påverkan på zink- och kopparhalter i avrinningsvattnet; undantag är det årliga kopparläckaget från taket på Kanotklubben i Malmö (180 gånger högre belastning i

avrinningen än i nederbörden). Men källan till uppmätt koppar där är taktäckans och stuprännans material, dvs. koppar, och inte det gröna taket. Läckaget av bly från gröna tak kan möjligen kopplas till takets ålder (Figur 5: jämför GG (Gunneshoskolan, grönt tak) med RL (regn, Lund)); men mera undersökningar behövs för att bekräfta denna hypotes. Mangan och järn ackumulerades i det gröna taket på Kanotklubben i Malmö. Det gröna taket i Augustenborg visade ingen belastning av mangan eller järn i avrinningen. Det gröna taket vid Kämnärsvägen var en källa till både mangan och järn. Det gröna taket på Gunneshoskolan var en källa till mangan men visade ingen påverkan på den årliga järnbelastningen i avrinning. Undersökta betong- och tegeltak visade ingen eller liten påverkan av bly, koppar och manganbelastning; samtidigt var de en källa till zink och järn (Figur 5).



Figur 5. Beräknad årlig deposition (mg/m^2 och år) och läckage (mg/m^2 och år) av tungmetaller från de undersökta gröna och icke bevuxna taken. RM-Regn Malmö; CG-Kanot Klubben grönt tak (Malmö); AG-Augustenborg grönt tak (Malmö); AT-Augustenborg tegeltak (Malmö); RL-Regn Lund; KG-Kämnärsvägen grönt tak (Lund); GG-Gunneshoskolan grönt tak (Lund); GB-Gunneshoskolan betongtak (Lund).

Tabell 1. Årliga belastningen av näringsämnen och metaller från enhetlig yta enligt beräkningar för Højeå avrinningsområde, södra Sverige (Czemiel Berndtsson och Bengtsson, 2004).

| Källa | Tot-P mg/m ² | Tot-N mg/m ² | Cu mg/m ² | Zn mg/m ² | Pb mg/m ² |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Atmosfärisk nedfall (a) | – | 1000 | 1,8 | 9,9 | 2,0 |
| Hårda ytor i Lunds tätort | 73,7 | 929 | 8,3 | 19,1 | 1,4 |
| Jordbruksmark | 24,2 ^(b) | 2220 ^(b) | 0,4 ^(c) | 0,7 ^(c) | 0,05 ^(c) |
| Grönt tak i Augustenborg | 104 | 378 | 5,7 | 7,1 | 0,1 |

(a) Kindbom m.fl. (2001); (b) Carlsson m.fl. (2003); (c) Andersson (1992)

Diskussion

Under ett regn blir föroreningar som ligger ansamlade på hårda ytor mobila och spolas med i avrinningsvattnet. Det betyder att, i de allra flesta fall, blir avrinningsvattnet smutsigare än regn. Generellt är hårda ytor källor till föroreningar. Undersökta gröna tak bidrog med vissa ämnen till avrinningen medan de i andra fall var en fälla för föroreningar. För att skapa sig en uppfattning om hur stor gröna taks påverkan är på avrinningsvattnet kan man jämföra föroreningsbelastningen från ett grönt taks yta med belastningen från atmosfäriskt nedfall och från andra ytor, t.ex. de hårda ytor i städerna eller från jordbruksmark. I tabell 1 görs jämförelsen.

Resultaten av nederbördens belastning av tungmetaller och näringsämnen erhållna i denna studie ligger mycket nära de resultat som uppnåddes i svensk nationell miljöövervakning av luft- och nederbördskemi (Tabell 1; Kindbom m.fl. 2001). Läckage av totalfosfor från grönt tak på Malmö Kanotklubb (73 mg/m² och år) ligger nära värden för hårda ytor i Lunds tätorter (Tabell 1). Samtidigt är läckaget av fosfor från det äldsta av de undersökta gröna taken (Gunneshöjden; 13 mg/m² och år) 80 % lägre än läckaget från hårda ytor i Lunds tätorter. Det totala årliga läckaget av total fosfor från gröna tak i Augustenborg (104 mg/m² och år) och vid Kämnärvägen (575 mg/m² och år) är större än läckaget från hårda ytor i Lund (Tabell 1). Årliga belastningen av totalt kväve, koppar och zink från alla undersökta gröna tak (med undantag av kopparläckage från Kanotklubbens gröna tak) är mindre än 50 % av belastningen av respektive ämne från hårda ytor som presenteras i Tabell 1. Årliga läckaget av bly från tre av fyra undersökta gröna tak ligger under läckaget från tätortens hårda ytor (Tabell 1). Samtidigt är blyläckaget från det gröna taket på Gunneshöjden högre än läckaget från andra gröna tak (Figur 5). Den årliga belastningen av koppar, zink och bly från de gröna taken är högre i alla undersökta fall än den beräknade belastningen av respektive metaller från jordbruksmark som visas i Tabell 1.

Slutsatser

Gröna taks påverkan på avrinningsvattnets kvalitet beror på gröna taks material, underhåll (gödsling eller inte) och takets ålder. Undersökta extensiva gröna tak förhöjde generellt läckaget av fosfor till avrinningsvattnet med undantag av det äldsta, icke gödslade taket. Gröna tak visade en förmåga att reducera kväveläckaget till avrinningsvattnet. Om man jämför läckaget av metaller från gröna tak med belastningen från nederbörden så visar gröna tak ingen större påverkan på utsläppen, men den totala årliga belastningen av metaller från gröna tak är betydligt mindre än belastningen av samma ämnen från andra hårda ytor i stadsmiljö.

Resultaten av denna studie visar att, efter etablering, bidrar gröna tak generellt inte till nedsmutsning av avrinningsvattnet. Det kan finnas en risk till att vissa ämnen som först ackumuleras i gröna tak sedan kan läcka, men för utvärdering av gröna taks långsiktiga påverkan på vattenkvaliteten krävs fortsatta studier. Trots att, som påvisades i denna studie, man inte kan rekommendera gröna tak för regnvattenrening (med undantag av kväve) så finns det många andra skäl för etablering av sådana tak, bl.a. estetiska, förbättring av det lokala klimatet, ökning av gröna miljöer vilket skapar plats för djur och växter. Allt tillsammans bidrar till ökad trivsamtet i den bebyggda miljön.

Tackord

Peter Lindhqvist bistod med att skaffa ekonomiska medel från Malmö Stad till vattenanalyser.

Referenser

- Andersson, A. (1992) Trace elements in agricultural soils. Fluxes, balances and background values. Naturvårdsverket Rapport 4077.
- Bengtsson, L., Grahn, L. and Olsson, J. (2005) Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology (in press)*.

- Carlsson, C., Kyllmar, K., and Ulén, B. (2003) Typområden på jordbruksmark. Växtnäringsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2001/2002. Ekohydrologi 76. SLU, Uppsala.
- Czemieli Berndtsson, J. and Bengtsson, L. (2004). Influence of different activities on water quality in a small basin. In: Urban wastewater systems: From disposal to reuse. Doktorsavhandling i Teknisk Vattenresurslära, LTH, Rapport 1031.
- English Nature (2003) Green roofs: Their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. English Nature Research Reports, Report no 498, English Nature, Northminster House, Peterborough, UK.
- Kindbom, K., Svensson, A., Sjöberg, K., and Persson, C. (2001) Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi 1997, 1998 och 1999. IVL Rapport B 1420.
- Köhler M, Schmidt M, Grimme FW, Laar M, de Assunção Paiva VL, Tavares S. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. *Environ Manage Health* 2002; 13(4): 382–391.
- Steusloff S. Input and output of airborne aggressive substances on green roofs in Karlsruhe. In: Breuste J, Feldmann H, Uhlmann O, editors. *Urban Ecology 1998*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg; Germany.